

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO AMBIENTAL**

TEMA:

**OBTENCIÓN DE UN INÓCULO MICROBIANO, PROVENIENTE DE LAS
DESCARGAS LÍQUIDAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA, SEDE QUITO-CAMPUS SUR, Y EVALUACIÓN DE SU
CAPACIDAD DE DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE
DICHAS DESCARGAS A ESCALA DE LABORATORIO**

AUTOR:

VARGAS ESPÍN DANNY FERNANDO

DIRECTORA:

GARCÍA TUMIPAMBA DIANA ELIZABETH

Quito, septiembre del 2014

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, septiembre del 2014

Danny Fernando Vargas Espín

CC. 1720272796

DEDICATORIA

A Dios, por haberme bendecido con hermosos dones que me han permitido alcanzar este sueño y muchos más que tengo la certeza que vendrán llenos de dificultades, pero a la vez de felicidad.

A mi hermosa familia, en especial a mis padres Sarita y Carlos por ser el aliciente necesario para alcanzar mis metas. Mis hermanitos Mónica y Juan Carlos, gracias por siempre cuidarme. Mauricio y Jenny, gracias por velar siempre por ellos. Mis encantadoras sobrinitas Maya, Meli, Karlita y al caballero más chiquito de la familia Caleb. Bienvenido al mundo pequeñito.

A Luis y Karen, dos increíbles amigos que me han ayudado en todo momento con sus valiosos y oportunos consejos, pero sobre todo con su alegría. Doy gracias a la vida por haberlos llegado a conocer.

A mis grandiosos amigos: Kike, Fernando, Jhonnatan, Santiago, Byron, Lesly, Daniel, Moisés, Marcelo, Cristian, César, por siempre haberme brindado su amistad incondicional y sincera a lo largo de estos años. Gracias de corazón por todas las anécdotas “compartidas”.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme brindado la oportunidad de alcanzar mi título profesional y a todos aquellos docentes que supieron impartirme valiosos conocimientos así como lecciones de vida que nunca olvidaré.

Gracias

Danny Fernando Vargas Espín

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Aguas residuales.....	3
1.2 Tratamiento de aguas residuales	3
1.2.1 Tratamiento secundario de aguas residuales por vía biológica.	4
1.3 Mineralización de la materia orgánica presente en el agua residual	6
1.4 Línea base.....	7
1.4.1 Delimitación geográfica del área de estudio.	7
1.4.2 Climatología.	8
1.4.2.1 <i>Temperatura.</i>	8
1.4.2.2 <i>Precipitación.</i>	8
1.4.3 Medio Biótico.....	8
1.4.3.1 <i>Flora.</i>	9
1.4.3.2 <i>Fauna.</i>	9
1.5 Técnicas metodológicas	9
1.5.1 Caracterización del recurso hídrico.	9
1.5.1.1 <i>Muestreo compuesto.</i>	10
1.5.1.2 <i>Muestreo puntual.</i>	10
1.5.1.3 <i>Muestreo integrado.</i>	11
1.5.2 Microbiología del agua residual.	11
1.5.2.1 <i>Procesamiento de muestras.</i>	12
1.5.2.2 <i>Siembra y aislamiento.</i>	12
1.5.2.2.1 <i>Medios de cultivo.</i>	13
Medios de cultivo enriquecidos	13
Medios de cultivo selectivos	14
1.5.2.3 <i>Identificación de microorganismos.</i>	14
1.5.2.3.1 <i>Identificación macroscópica.</i>	14
1.5.2.3.2 <i>Identificación microscópica.</i>	15
1.5.2.4 <i>Conformación de inóculos.</i>	15
1.6 Tratamiento de aguas residuales en el Ecuador	16
1.7 Planteamiento del problema.....	16

1.7.1	Estimación de la contaminación generada por las descargas líquidas de la UPS-Campus Sur.	17
CAPÍTULO 2.....		21
MATERIALES Y MÉTODOS.....		21
2.1	Zona de estudio	21
2.2	Línea base del área de influencia directa	22
2.2.1	Climatología.	24
2.2.1.1	<i>Temperatura.</i>	24
2.2.1.2	<i>Precipitación.</i>	24
2.2.2	Medio Biótico.....	25
2.2.2.1	<i>Flora.</i>	26
2.2.2.2	<i>Fauna.</i>	26
2.3	Caracterización del recurso hídrico.....	28
2.3.1	Plan de muestreo.	28
2.3.2	Selección de los puntos de muestreo.	29
2.3.3	Metodología de toma de muestras de agua residual.	31
2.3.3.1	<i>Toma de muestra compuesta de agua residual.</i>	32
2.3.3.2	<i>Toma de muestra puntual de agua residual.</i>	33
2.4	Microbiología del agua residual de la Universidad Politécnica Salesiana-Campus Sur	34
2.4.1	Procesamiento de muestras.....	35
2.4.1.1	<i>Activación de microorganismos presentes en las muestras de agua residual.</i> 35	
2.4.1.2	<i>Esterilización del material.</i>	36
2.4.2	Siembra y aislamiento.	37
2.4.2.1	<i>Selección de medios de cultivo.</i>	37
2.4.2.2	<i>Dilución.</i>	39
2.4.2.3	<i>Siembra profunda y aislamiento.</i>	40
2.4.3	Identificación de microorganismos.	41
2.4.3.1	<i>Conteo de Unidades Formadoras de Colonias.</i>	41
2.4.3.2	<i>Morfología.</i>	42
2.4.3.2.1	<i>Macroscópica.</i>	42
2.4.3.2.2	<i>Microscópica.</i>	42
2.4.4	Conformación de inóculos.....	42

2.5	Sistema de hipótesis	42
2.6	Diseño experimental.....	43
2.6.1	Montaje del diseño experimental.	43
2.6.1.1	<i>Duración</i>	44
2.6.1.2	<i>Análisis de datos</i>	45
2.7	Medición de la Demanda de Oxígeno	45
2.7.1	Medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).	45
2.7.2	Medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).	46
CAPÍTULO 3		48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		48
3.1	Conformación de la muestra compuesta de agua residual de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur	48
3.1.1	Resultados de la muestra compuesta de agua residual de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur (Caracterización físico-química). ...	51
3.2	Resultados del muestreo puntual <i>in situ</i>	52
3.3	Resultados del número de Unidades Formadoras de Colonias contabilizadas mediante técnica de recuento en placa para las muestras de agua residual UPS y EST. 53	
3.4	Morfología	56
3.4.1	Macroscópica.....	56
3.4.2	Microscópica.	59
3.5	Conformación de inóculos nativos.....	61
3.6	Análisis estadístico.....	63
3.6.1	Valores de DBO ₅	63
3.6.2	Valores de DQO.	65
3.6.3	Análisis de homogeneidad de varianza.	66
3.6.4	Análisis de varianza (ANOVA) a una vía para DBO ₅	66
3.6.4.1	<i>Inóculo UPS</i>	66
3.6.4.2	<i>Inóculo EST</i>	67
3.6.5	Análisis de varianza (ANOVA) a una vía para DQO.....	69
3.6.5.1	<i>Inóculo UPS</i>	69
3.6.5.2	<i>Inóculo EST</i>	70
3.7	Determinación del inóculo más eficiente en la degradación de materia orgánica.....	70
3.7.1	Cinética de la DBO ₅ inóculo UPS.	72

3.7.2	Cinética de la DQO inóculo UPS.....	74
3.7.3	Eficiencia de biodegradación.	75
3.8	Análisis de los testigos de prueba	77
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES.....	81
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	83
	LISTA DE REFERENCIAS	86
	ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Crecimiento de la población estudiantil UPS, Campus Sur 2009-2014	17
<i>Figura 2.</i> Composición promedio de las aguas residuales de la UPS-Sur.....	19
<i>Figura 3.</i> Caja de revisión característica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur con desechos biológicos	19
<i>Figura 4.</i> Edificaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur	21
<i>Figura 5.</i> Quebrada que recibe directamente las descargas de agua residual.....	23
<i>Figura 6.</i> Diagrama de flujo proceso de generación de aguas residuales en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur	23
<i>Figura 7.</i> Concentraciones de temperatura mensual año 2013	24
<i>Figura 8.</i> Precipitación mensual año 2013	25
<i>Figura 9.</i> Puntos de muestreo Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur	29
<i>Figura 10.</i> Puntos de descarga directa de aguas residuales hacia cuerpo receptor.....	30
<i>Figura 11.</i> Curva diaria de descarga de aguas residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur	32
<i>Figura 12.</i> Metodología de muestreo compuesto de agua residual UPS-Sur	33
<i>Figura 13.</i> Metodología de muestreo puntual de agua residual estancada	33
<i>Figura 14.</i> Características de la muestra de agua residual puntual.....	34
<i>Figura 15.</i> Elaboración de inóculos bacterianos nativos	34
<i>Figura 16.</i> Muestras de agua residual alcanzando la temperatura ambiente	36
<i>Figura 17.</i> Materiales y equipos usados en el aislamiento, purificación y conservación de microorganismos sembrados	37
<i>Figura 18.</i> Influencia de un vertido residual orgánico sobre la microbiología del cauce natural receptor	38
<i>Figura 19.</i> Siembra de muestras de agua residual mediante siembra profunda.....	41
<i>Figura 20.</i> Recuento manual de UFC en cajas Petri.....	41
<i>Figura 21.</i> Incubación de unidades experimentales.....	44
<i>Figura 22.</i> Metodología para la determinación de DQO	45
<i>Figura 23.</i> Determinación diaria de la DQO en unidades experimentales	46
<i>Figura 24.</i> Metodología para la determinación de DBO ₅	47
<i>Figura 25.</i> Determinación de la DBO ₅ en unidades experimentales	47

<i>Figura 26. Conformación de la muestra compuesta aguas residuales UPS-Sur.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 27. Número de UFC en función de su dilución en agar nutritivo</i>	<i>54</i>
<i>Figura 28. Número de UFC en función de su dilución en agar Saboraud.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 29. Número de UFC en función de su dilución en agar YPD.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo</i>	<i>56</i>
<i>Figura 31. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar saboraud</i>	<i>57</i>
<i>Figura 32. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 33. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo</i>	<i>59</i>
<i>Figura 34. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar saboraud</i>	<i>60</i>
<i>Figura 35. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 36. Gráfico de perfil de las medias para los inóculos UPS y EST.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 37. Curva de evolución de la DBO₅ en función del tiempo para el inóculo UPS</i>	<i>72</i>
<i>Figura 38. Curva de evolución de la DQO en función del tiempo para el inóculo UPS.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 39. Eficiencia de biodegradación de la DBO₅ para el inóculo UPS</i>	<i>75</i>
<i>Figura 40. Eficiencia de biodegradación de la DQO para el inóculo UPS.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 41. Medición de la turbidez en unidades experimentales</i>	<i>77</i>
<i>Figura 42. Gráfico de evolución de la turbidez en función del tiempo para el inóculo UPS</i>	<i>78</i>
<i>Figura 43. Gráfico de evolución de la turbidez en función del tiempo para el inóculo EST.....</i>	<i>78</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Biodegradabilidad de un agua residual</i>	5
Tabla 2. <i>Fuentes de generación de aguas residuales</i>	22
Tabla 3. <i>Flora existente en el área de influencia directa</i>	26
Tabla 4. <i>Fauna existente en el área de influencia directa</i>	27
Tabla 5. <i>Plan de muestreo del agua residual</i>	28
Tabla 6. <i>Muestreos realizados en la quebrada aledaña a la UPS-Sur</i>	31
Tabla 7. <i>Medios de cultivo sólidos utilizados para la identificación de microorganismos presentes en el Agua Residual UPS-Sur</i>	39
Tabla 8. <i>Número de cajas Petri sembradas por cada medio de cultivo sólido</i>	40
Tabla 9. <i>Arreglo factorial de 2 X 3 utilizado en el diseño experimental</i>	43
Tabla 10. <i>Características de las muestras de agua residual recogidas del vertido de la UPS-Sur hacia cuerpo receptor</i>	48
Tabla 11. <i>Alícuotas que conformaron la muestra compuesta de agua residual UPS-Sur</i>	49
Tabla 12. <i>Identificación de muestras enviadas a los laboratorios de análisis en aguas</i>	50
Tabla 13. <i>Resultados caracterización inicial del agua residual UPS-Sur</i>	51
Tabla 14. <i>Parámetros que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP) de descarga hacia cauce de agua TULSMA Libro VI Anexo 1, Ord. 0213 DM. Quito y posibles problemas generados</i>	52
Tabla 15. <i>Valores in situ de la muestra puntual de agua en zona con estancamiento</i>	52
Tabla 16. <i>Identificación de muestra puntual de agua residual</i>	53
Tabla 17. <i>Número de UFC promedio presentes en muestras de agua residual</i>	53
Tabla 18. <i>Características macroscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo</i>	56
Tabla 19. <i>Características macroscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar saboraud</i>	57
Tabla 20. <i>Características macroscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD</i>	58
Tabla 21. <i>Características microscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo</i>	59
Tabla 22. <i>Características microscópicas de las colonias presentes en muestras de agua residual en agar saboraud</i>	60

Tabla 23. <i>Características microscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD</i>	61
Tabla 24. <i>Cálculo del número de UFC/ml colocados en los inóculos conformados</i>	62
Tabla 25. <i>Conformación de inóculo nativo UPS</i>	63
Tabla 26. <i>Conformación de inóculo nativo EST</i>	63
Tabla 27. <i>Resultados de DBO₅ obtenidos al final del ensayo de biodegradación de las unidades experimentales UPS y EST</i>	64
Tabla 28. <i>Resultados de DQO obtenidos finalizado el ensayo de biodegradación de las unidades experimentales UPS y EST</i>	65
Tabla 29. <i>ANOVA de un factor DBO₅ inóculo UPS</i>	66
Tabla 30. <i>Medias para los grupos homogéneos de las interacciones para la DBO₅ inóculo UPS</i>	67
Tabla 31. <i>ANOVA de un factor DBO₅ inóculo EST</i>	67
Tabla 32. <i>ANOVA de un factor DQO inóculo UPS</i>	69
Tabla 33. <i>Medias para los grupos homogéneos de las interacciones para la DQO inóculo UPS</i>	69
Tabla 34. <i>ANOVA de un factor DQO inóculo EST</i>	70

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación para la conformación de muestras compuestas de agua residual	.48
Ecuación 2. Catabolismo (oxidación o descomposición)73
Ecuación 3. Anabolismo (síntesis o asimilación)73
Ecuación 4. Autólisis (respiración endógena o autooxidación)73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos para el cálculo de la tasa de crecimiento de la población estudiantil UPS-2014.....	92
Anexo 2. Fotografía para el cálculo del área de influencia mediante generación de un polígono	93
Anexo 3. Datos registrados de temperatura Estación El Camal 2013.....	94
Anexo 4. Datos registrados de precipitación Estación El Camal 2013.....	94
Anexo 5. Resultados de análisis de laboratorio para caracterización inicial del efluente de la UPS-Sur realizado en DPEC Universidad Central del Ecuador.....	95
Anexo 6. Resultados de análisis de laboratorio para caracterización inicial del efluente de la UPS-Sur realizado en la Universidad Politécnica Salesiana	96
Anexo 7. Inventario de reactivos que contienen cloruros en el laboratorio de Ingeniería Ambiental.....	97
Anexo 8. Cálculo de la constante de desoxigenación k_1 para el inóculo UPS.....	98
Anexo 9. Datos de turbidez expresados en NTU medidos en las unidades experimentales.....	99

RESUMEN

En esta investigación se estudió el comportamiento de 6 inóculos microbianos nativos obtenidos de las aguas residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur.

La medición de la DBO_5 y DQO de las aguas contaminadas durante el proceso de caracterización de cada una de las cepas aisladas, permitió determinar la eficacia del tratamiento y la reducción de la contaminación de la materia orgánica en los ensayos de degradación.

Es imprescindible entender que dentro del tratamiento de aguas residuales no hay una solución única que elimine o reduzca completamente toda la carga contaminante por la diversidad y complejidad de los procesos y actividades que la generan. Una visión realista consiste en reducir progresivamente la carga contaminante hasta alcanzar los límites permisibles establecidos por la normativa nacional del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, Libro VI Anexo 1 y la Ordenanza Municipal 0213 del DM. Quito, para descargas hacia un cuerpo receptor.

De los 6 inóculos investigados, el inóculo de código UPS1, permitió obtener valores de remoción de materia orgánica expresados en términos de DBO_5 y DQO superiores al 50% para ambos parámetros, logrando el cumplimiento de los límites fijados por las normativas ambientales citadas anteriormente.

ABSTRACT

This research studied the behavior of six native microbial inoculums obtained from the Universidad Politécnica Salesiana wastewater.

The measure the COD and BOD₅ from the contaminated water during the characterization of each isolated strains established the efficacy of treatment and the reduction of the organic matter in the degradation assays.

It is necessary to understand that within the wastewater treatment, there is no a unique solution to reduce or completely eliminate all the pollution load for diversity and complexity of the processes and activities that generate it. A realistic vision is to progressively reduce the pollution load to reach the limits set by the national legislation Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, Libro VI Anexo 1 and Ordenanza Municipal 0213 DM. Quito for discharges into water bodies.

Of the 6 inocula that were investigated, the inoculum UPS1 reached values of reduction of organic matter expressed in terms of BOD₅ and COD above 50% for both parameters. This value accomplished the limits set by environmental regulations cited above.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales que afecta gravemente la biodiversidad del país y preocupa a todas las ciudades es el tratamiento de aguas residuales, producto de las actividades humanas en el ámbito industrial y de servicios. El servicio en el ámbito educativo que oferta la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-Campus Sur (UPS-Sur) no es ajeno a esta problemática nacional.

La Fundación Unidad del Sur UNISUR (2014), en su reseña histórica menciona que la UPS-Sur abrió sus puertas el 30 de noviembre de 1995 e inició sus actividades con 72 estudiantes (pág. 1).

Actualmente según el Sistema Nacional Académico (2014), la universidad acoge en sus instalaciones a 3397 estudiantes, lo que lo convierte en uno de los centros educativos con mayor crecimiento estudiantil en la última década.

La alta tasa de crecimiento estudiantil produce también un aumento proporcional en la generación de descargas líquidas, las cuales tienen la particularidad de estar compuestas mayoritariamente por materia orgánica que puede ser degradada por vía biológica. Lamentablemente las mencionadas descargas son vertidas en su gran mayoría hacia un cuerpo receptor de agua, provocando un grave impacto ambiental a los recursos e incumpliendo normativas locales y nacionales.

Frente a este problema ambiental ha sido ampliamente estudiado en los últimos años el papel que juegan los microorganismos en la depuración por vía biológica de efluentes, debido a que son los principales responsables de las transformaciones bioquímicas (Erijman, Figuerola, Guerrero, & Ayarza, 2011, pág. 127).

Gracias a los buenos resultados obtenidos por una diversidad de investigaciones en el aislamiento y cultivo de microorganismos del medio ambiente y su aplicación en el ámbito de la Ingeniería Ambiental, se optó por seguir esta línea investigativa y obtener inóculos nativos de las aguas residuales de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-Campus Sur y ensayar su eficiencia de degradación de la

materia orgánica presente en estas aguas mediante la medición a nivel de laboratorio de DBO₅ y DQO.

Los resultados obtenidos en remoción de materia orgánica servirán para futuras investigaciones en el campo del tratamiento de aguas residuales y su viabilidad para efectuar depuraciones por vía biológica, a fin de cumplir con las normativas locales y nacionales en materia de descargas hacia cuerpos receptores y sistemas de alcantarillado.

Objetivos

General

Obtener un inóculo microbiano, proveniente de las descargas líquidas de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-Campus Sur, y evaluar la capacidad de degradación de la materia orgánica de dichas descargas a escala de laboratorio.

Específicos

- Colectar muestras de agua residual en el punto de descarga final de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-Campus Sur, hacia un cuerpo receptor mediante un plan de muestreo.
- Determinar los grupos de microorganismos presentes en las muestras de agua residual, con el fin de generar consorcios microbianos, producir biomasa y establecer los inóculos más eficientes.
- Evaluar la eficiencia de degradación de materia orgánica del agua residual mediante la medición de DBO y DQO de los inóculos obtenidos.
- Analizar estadísticamente los datos obtenidos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Aguas residuales

A medida que la humanidad empezó a desarrollarse social e industrialmente, sus descargas líquidas también evolucionaron pasando de los efluentes con características biológicas hacia los de tipo industrial, contaminando de esta manera sus recursos hídricos (Sierra, 2011, pág. 28).

Muchas de las epidemias que diezmaron ciudades en los siglos pasados obedecieron al deterioro en la calidad del agua, algunas de ellas fueron: cólera, gastroenteritis, fiebre tifoidea, disentería, parasitismo, entre otras y solo hasta finales del siglo XVIII e inicios del XIX el ser humano empezó a desarrollar sistemas para tratar sus aguas residuales (Sierra, 2011, págs. 28, 78).

Un agua residual por definición es aquella proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso que hayan sufrido degradación o alteración en su calidad original (TULSMA LIBRO VI ANEXO 1, 2003, pág. 287).

Dentro del campo de tratamiento de aguas residuales, en ocasiones se manejan arbitrariamente los conceptos de aguas negras y aguas servidas o grises generando confusiones.

Su diferencia radica en la presencia de materia fecal (heces y orina) en las primeras, mientras que las aguas grises contienen desechos provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales (Romero, 2008, pág. 1040).

1.2 Tratamiento de aguas residuales

El objetivo primordial de efectuar un tratamiento implica reducir al máximo el impacto a la salud y hacia el ambiente que ocasionan las descargas de agua residual cruda hacia los cuerpos receptores de agua, valiéndose para ello de procesos físicos, químicos, biológicos y sus combinaciones (González, 2012, pág. 305).

Los métodos de tratamiento que utilizan fenómenos físicos se designan como operaciones unitarias. Por el contrario se denominan como procesos unitarios a los métodos que eliminan contaminantes mediante vía química o biológica (Sainz, 2007, págs. 61, 62).

Estas operaciones y procesos unitarios mencionados se agrupan para formar los denominados tratamientos primario, secundario y terciario que en conjunto buscan mejorar la calidad del agua residual (González, 2012, pág. 305).

Romero (2008) describe las principales sustancias que son removidas en cada etapa del tratamiento, mismas que se describen a continuación.

- **Tratamiento primario:** Contempla el uso de operaciones físicas tales como la sedimentación y el desbaste para la eliminación de los sólidos suspendidos, materia orgánica y organismos patógenos.
- **Tratamiento secundario:** Se realizan procesos biológicos y químicos, los cuales se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica medida en forma de DBO, además de sólidos suspendidos.
- **Tratamiento terciario:** Se emplea para remover esencialmente nutrientes y evitar una posterior eutrofización (pág. 130).

1.2.1 Tratamiento secundario de aguas residuales por vía biológica.

Se denominan tratamientos secundarios o biológicos unitarios, mismos que se encargan de remover en especial sólidos suspendidos y compuestos orgánicos biológicamente degradables.

Consisten en provocar el crecimiento y síntesis de microorganismos con capacidad de oxidar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual logrando su eliminación (Sainz, 2007, pág. 61).

Tomando como variable limitante al oxígeno, los procesos biológicos más importantes son los de tipo aerobio (presencia de oxígeno), anaerobio (ausencia de

oxígeno), facultativo (presencia o ausencia de oxígeno), anóxicos (desnitrificación anaerobia) y de lagunaje (González, 2012, pág. 307).

A pesar de que un tratamiento biológico es el más adecuado para la depuración de las aguas residuales al no dejar remanentes de compuestos químicos, es importante tomar en cuenta ciertas consideraciones ambientales antes de su elección como menciona Romero (2008).

- Nutrientes eficientes: nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica medida como DBO.
- Ausencia de compuestos tóxicos: metales pesados, fenoles, pH.
- Condiciones ambientales apropiadas: temperatura, oxígeno disuelto, sólidos.
- Biodegradabilidad de un agua residual (pág. 249).

Este último término hace referencia a la factibilidad de escoger un tratamiento biológico para depurar un agua residual. Al obtener el cociente entre la DBO₅ y la DQO caracterizadas inicialmente, se obtiene una relación que indicará las posibilidades de biodegradabilidad de un agua residual como se aprecia a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. *Biodegradabilidad de un agua residual*

$\frac{DBO_5}{DQO}$	Interpretación
< 0,2	Poco biodegradable
0,2-0,4	Biodegradable
> 0,4	Muy biodegradable

Fuente: Hernández & Galán, 2004, pág. 10

Únicamente una caracterización inicial del agua residual que abarque como mínimo el análisis de los parámetros citados permitirá determinar la factibilidad del uso de un tratamiento biológico.

1.3 Mineralización de la materia orgánica presente en el agua residual

Los conceptos de mineralización, oxidación y estabilización se utilizan como sinónimos dentro de la ingeniería de aguas residuales y responden a la reacción de oxidación que sufre la materia orgánica e inorgánica presente en el agua residual por acción del oxígeno atmosférico (Vaan Handel & Van der Lubbe, 2012, pág. 18).

Se entiende por materia orgánica a aquella cuyas moléculas están constituidas fundamentalmente por átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre (C, H, O, N, P, S). En el agua residual estos átomos se encuentran organizados y formando moléculas complejas tales como proteínas 40-60%, carbohidratos 25-50% y lípidos 10-30% (Salgado, Durán, Cruz, Carballo, & Martínez, 2012, pág. 18).

Por el contrario, la materia inorgánica está conformada por moléculas simples, de menor tamaño y puede contener átomos de cualquier elemento, incluso carbono como los carbonatos, diamante, grafito, etc. Adicionalmente sus reacciones son más rápidas que en los compuestos orgánicos (Armendaris, 2001, pág. 15).

Es importante mencionar que la mineralización a través del oxígeno atmosférico no es la única vía que coadyuva a la oxidación de los compuestos, también intervienen en este proceso los microorganismos presentes en el agua residual. El método para medir la cantidad de oxígeno que requerirán estos microorganismos para oxidar por vía biológica la materia orgánica presente en el agua residual se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Hernández & Galán, 2004, pág. 7).

Cuando el ensayo tiene una duración de 5 días se denomina DBO_5 y tiene su origen histórico al ser el tiempo promedio que tardaban los ríos ingleses en descargar sus efluentes al mar, además se ha demostrado que en este lapso se oxida entre el 60 al 80% de la materia orgánica total (Radojevic & Bashkin, 2006, pág. 189).

Para determinar y modelar el comportamiento de la DBO en el tiempo dentro de un agua residual se utiliza la constante de desoxigenación denominada como k_L . Esta mide la velocidad a la cual se oxida la materia orgánica y sus unidades son $[\text{días}^{-1}]$ (Sierra, 2011, pág. 282).

Por el contrario, si se busca oxidar por vía química tanto la materia orgánica como inorgánica presente en el agua residual se recurre al uso de oxidantes fuertes siendo el más usado el dicromato de potasio. La medición de la cantidad de oxígeno requerida para lograrlo se denomina Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Crites & Tchobanoglous, 2000, pág. 67).

1.4 Línea base

Antes de iniciar con los trabajos dentro de un área natural determinada, es imprescindible identificar e inventariar las condiciones iniciales en que se encuentran los elementos del medio antes de emprender las acciones del proyecto planteado (Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005, pág. 119).

Esta metodología tiene la finalidad de evaluar si las acciones o tratamientos aplicados mejoraron o empeoraron la calidad del ecosistema analizado teniendo como referencia la línea base levantada (Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005, pág. 120).

Se debe evaluar como mínimo los siguientes parámetros:

1. Delimitación geográfica del área de estudio
2. Climatología
3. Medio biótico (flora y fauna)

1.4.1 Delimitación geográfica del área de estudio.

Permite separar el área de estudio del resto de componentes que conforman la totalidad del sistema.

Al área de estudio aislada se le denomina área de influencia directa y cuenta con características propias de climatología y medio biótico (Conesa, 2009, pág. 217).

Por el contrario aquellas zonas alrededor del área de influencia directa que son impactadas de forma secundaria por las actividades del proyecto recibe el nombre de área de influencia indirecta (Conesa, 2009, pág. 217).

1.4.2 Climatología.

Es el conjunto de condiciones atmosféricas que se han registrado a lo largo de un estándar de tiempo, generalmente 30 años en una zona determinada (Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005, pág. 120).

Las variables consideradas para su evaluación en este estudio serán temperatura y precipitación, debido a su relación directa con la generación y descomposición de las aguas residuales.

1.4.2.1 Temperatura.

Es la medida de la cantidad de calor presente en un sistema, en nuestro estudio este sistema corresponde al área de influencia directa (INAMHI, 2011, pág. 3).

Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el Kelvin (K), pero en este estudio se trabajará en grados Celsius (°C) debido a que los instrumentos y anuarios meteorológicos utilizados para la recopilación de datos se encuentran expresados en esta unidad.

1.4.2.2 Precipitación.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2011) define a la precipitación como el hidrometeoro consistente en la caída de lluvia, llovizna, nieve, granizo, hielo granulado, etc. desde las nubes a la superficie de la tierra. Su unidad de medida es el mm. Un mm de precipitación equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado (pág. 5).

1.4.3 Medio Biótico.

Es el conjunto de organismos vivos que conforman un área determinada y que mantienen relaciones tróficas entre ellos (Bustos, 2008, pág. 10).

Considerando el medio ambiente como el receptor directo de efluentes, emisiones y residuos, se debe evaluar constantemente su capacidad de asimilación denominada

como resiliencia ecológica para preservar de manera indefinida sus recursos (Conesa, 2009, págs. 44, 45).

1.4.3.1 Flora.

Es la parte más visible de un ecosistema, debido a que se distribuye a lo largo de toda el área de estudio.

Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia (2005) definen a la flora como “el resultado de la combinación de elementos ambientales como el clima, topografía, geología, edafología e hidrología, pero además sus características también van a depender del uso que la fauna y el ser humano hagan de ella” (pág. 137).

Adicionalmente la flora es importante debido a que algunas especies vegetales proporcionan información sobre el estado de conservación de un ecosistema, constituyéndose en excelentes bioindicadores (Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005, págs. 26, 137).

1.4.3.2 Fauna.

Abarca el levantamiento de todos los animales silvestres dentro del espacio donde se va a trabajar, es decir del área de influencia directa. Los animales domésticos se excluyen de esta definición por ser seres bióticos ajenos al ecosistema de estudio y que pueden introducirse sin ninguna dificultad por el ser humano (Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005, pág. 146).

1.5 Técnicas metodológicas

1.5.1 Caracterización del recurso hídrico.

Para conocer el grado de pureza o contaminación del recurso agua, se procede a efectuar la medición de parámetros de calidad que son: hidrología, características fisicoquímicas y su componente biológico (Sierra, 2011, pág. 27).

La herramienta que permite el monitoreo de los parámetros mencionados es un plan de muestreo. Las consideraciones básicas que debe garantizar según Sierra (2011) son:

1. Asegurar la representatividad de las características del efluente de agua residual.
2. Utilizar normativas establecidas por organismos especializados en la materia.
3. Preservar adecuadamente las muestras mediante cadenas de custodia.
4. Analizar apropiadamente los resultados en el laboratorio (pág. 217).

Los planes de muestreo de aguas residuales no se pueden generalizar, estos se deben delinear en base a los objetivos del monitoreo mediante el uso de alguno de los tipos de muestreo existentes presentados a continuación.

- Muestreo compuesto
- Muestreo puntual
- Muestreo integrado (Sierra, 2011, págs. 219-221).

1.5.1.1 Muestreo compuesto.

Cuando el agua residual a muestrear presenta variaciones o intermitencia en su composición se debe optar por seguir una línea de muestreo compuesto. Esta consiste en la toma de pequeñas muestras individuales denominadas alícuotas, proporcionales al tiempo y al flujo de agua residual que se mezclan e integran una muestra total que se envía al laboratorio para su análisis (Sierra, 2011, pág. 220).

El número de alícuotas tomadas estarán en función del volumen total de agua residual requerido para su análisis.

1.5.1.2 Muestreo puntual.

Cuando las características del agua residual no varían en función del tiempo y estas permanecen constantes, se procede a la toma de una muestra puntual.

Consiste en la toma de una muestra en un solo punto a un determinado tiempo, representando las condiciones del agua residual en el momento en que se recolecta (Sierra, 2011, pág. 218).

1.5.1.3 Muestreo integrado.

Consiste en la toma de varias muestras al mismo tiempo en varios puntos de muestreo. Es usado generalmente en lagunas, reservorios de agua urbanos, ríos y varias extensiones de agua (Sierra, 2011, pág. 221).

1.5.2 Microbiología del agua residual.

El agua posee características físicas y químicas que permiten la adaptación y crecimiento de un diverso número de microorganismos como bacterias, protozoos, algas, hongos, virus, plantas y animales (González, 2012, pág. 52).

Dentro del tratamiento de aguas residuales especialmente en lo concerniente al tratamiento biológico, estos están constituidos por una amplia diversidad de microorganismos que interactúan y crecen basados en su propia curva de crecimiento (González, 2012, pág. 103).

Debido a los altos costos que tienen los fangos activados provenientes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y la reducción en su eficiencia al cambiar las condiciones fisicoquímicas del efluente, se opta por seguir una línea investigativa consistente en el aislamiento de los microorganismos propios de las aguas residuales debido a su capacidad de adaptarse a las condiciones propias de las descargas, término conocido como plasticidad ecológica (Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005, pág. 14).

Una de las metodologías más utilizadas por parte de investigadores y entes gubernamentales como el Ministerio del Ambiente del Ecuador para la obtención de inóculos nativos de los recursos naturales como suelo y agua, es la descrita por Bravo (2014) que sigue los siguientes lineamientos.

1. Procesamiento de muestras
2. Siembra y aislamiento
3. Identificación de microorganismos
4. Conformación de inóculos (pág. 25).

1.5.2.1 Procesamiento de muestras.

Abarca un conjunto de directrices necesarias para mantener las muestras de agua residual en condiciones óptimas para su trabajo en el laboratorio.

Los procedimientos a seguir son:

- Recepción de la muestra
- Refrigeración y conservación
- Descongelamiento y activación de las muestras
- Esterilización del material (Guerrero & Sánchez, 2003, pág. 4).

1.5.2.2 Siembra y aislamiento.

Sembrar o inocular consiste en introducir artificialmente una porción de muestra, denominado inóculo microbiano, en un medio de cultivo con todos los nutrientes necesarios para dar inicio a su crecimiento (Santambrosio, 2009, pág. 2).

Las 3 técnicas de siembra que permiten el crecimiento de un cultivo puro, es decir el desarrollo de una población de células que proceda de una única célula son:

- Siembra por extensión
- Siembra por estrías
- Siembra profunda (Prescott, Harley, & Klein, 2004, págs. 112,113)

La primera técnica consiste en colocar un volumen pequeño de mezcla microbiana diluida sobre el centro de una caja Petri conjuntamente con agar, para proceder a mezclar uniformemente mediante el uso de una varilla acodada de vidrio estéril.

La siembra por estrías permite inocular la mezcla microbiana sobre una caja Petri con agar mediante un asa de siembra que contiene células individuales que se van desprendiendo del asa al frotarla sobre el agar, formando estrías en varios sentidos.

Finalmente la técnica de siembra profunda diluye a la muestra original varias veces para reducir lo suficiente a la población de microorganismos y poder efectuar su

recuento. En el caso del agua residual esta técnica es la más usada debido a la alta concentración de microorganismos que habitan este recurso.

Posteriormente se vierten cada una de estas diluciones en un medio de cultivo sólido y se procede a incubarlas con la finalidad de proporcionar a los microorganismos condiciones de temperatura adecuadas para dar inicio a su curva de crecimiento (Santambrosio, 2009, pág. 2).

1.5.2.2.1 Medios de cultivo.

Un medio de cultivo se define como “una solución acuosa de varios nutrientes que permite el crecimiento de los microorganismos”. Estos se dividen en:

- Medios de cultivo complejos: constituidos por hidrolizados de sustancias químicas no definidas como extractos de levadura o carne.
- Medios de cultivo definidos: se conoce su composición química exacta.
- Medios de cultivo diferencial: facilita la identificación de microorganismos basados en su apariencia.
- Medios de cultivo enriquecidos: permite el crecimiento de microorganismos al tener añadidos factores de crecimiento.
- Medios de cultivo selectivos: permite el crecimiento de unos organismos e inhibe el crecimiento de otros (Madigan, Martinko, & Parker, 2003, pág. 1032).

1. Medios de cultivo enriquecidos

Agua de peptona

Es un medio de enriquecimiento no selectivo. La peptona proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo microbiano y el cloruro de sodio mantiene el balance osmótico dentro de las células.

Adicionalmente el agua de peptona permite recuperar células dañadas y puede ser utilizada como diluyente de muestras en sustitución de la solución fisiológica (Laboratorios Britania, 2014, pág. 1).

2. Medios de cultivo selectivos

Agar nutritivo

Es un medio de cultivo utilizado para el aislamiento y recuento de microorganismos con escasos requerimientos nutricionales, especialmente para aislar bacterias (Laboratorios Britania, 2014, pág. 1).

Agar Saboraud

Medio de cultivo utilizado para el aislamiento y desarrollo de hongos y levaduras cuyos nutrientes esenciales son la pluripectona y la glucosa (Laboratorios Britania, 2014, pág. 1).

Agar Yeast Extract Peptone Dextrose (YPD)

Medio de cultivo selectivo usado para el aislamiento de levaduras, cuyo contenido principal es peptona, glucosa y extracto de levadura (Laboratorios Conda, 2014, pág. 1).

1.5.2.3 Identificación de microorganismos.

Consiste en la aplicación de un conjunto de técnicas y procedimientos fenotípicos que permiten determinar la identidad de un microorganismo (Fernández, García, Saéz, & Valdezate, 2010, pág. 3).

La morfología de los microorganismos permite su estudio basado en la forma y estructura de los organismos. Su análisis se puede efectuar macroscópicamente y microscópicamente, valiéndose del uso de un microscopio para este último término (Schlegel, 2002, pág. 17).

1.5.2.3.1 Identificación macroscópica.

Los microorganismos que han crecido en los medios de cultivo lo hacen obedeciendo a características observables a simple vista tales como: textura, color, forma, olor, brillo, elevación, etc. lo cual ayudará a determinar el taxón al que pertenece (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 456).

1.5.2.3.2 Identificación microscópica.

La técnica mayormente difundida es la tinción de Gram, desarrollada por el bacteriólogo danés Cristian Gram y que permite identificar a las bacterias Gram positivas de las Gram negativas por la coloración de la pared celular, constituida por peptidoglicano (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 64).

A continuación se resume la secuencia de la tinción en los siguientes pasos:

1. Aplicación de violeta de genciana
2. Aplicación de yodo (mordiente)
3. Lavado con alcohol (decoloración)
4. Aplicación de safranina (colorante de contraste) (Tortora, Funke, & Case, 2007, pág. 70).

Las bacterias que conservan el color violeta se clasifican como Gram positivas, mientras que las coloreadas de rosado son Gram negativas.

Adicionalmente la tinción de Gram también permite visualizar hongos en forma de levaduras o mohos. Todos los hongos son positivos a la coloración de Gram, excepto *Cryptococcus neoformans* (American Association for Clinical Chemistry, 2014, párr. 4).

Al ser una técnica barata y rápida permite observar levaduras yemantes o que están formando pseudohifas, sin embargo debe tenerse presente que los hongos filamentosos no se tiñen o lo hacen muy débilmente con tinción de Gram (Guzmán, 2004, pág. 39).

1.5.2.4 Conformación de inóculos.

Hernández (2003) describe a esta etapa como “la obtención de una suspensión de microorganismos viables y aptos para reproducirse y producir metabolitos a escala industrial” (pág. 27).

1.6 Tratamiento de aguas residuales en el Ecuador

Según la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) (2013), el planeta Tierra posee un 71% de toda su superficie cubierta de agua pero apenas el 2% es dulce, es decir apta para el consumo humano. Al contar con este porcentaje limitado de fuentes hídricas, se vuelve imprescindible la conservación de este recurso natural indispensable para el desarrollo de la vida (párr. 2).

La SENAGUA (2013) en su informe sobre la Gestión de Recursos Hídricos en el Ecuador, menciona que el 92% de las aguas residuales se descargan en los cursos naturales sin tratamiento provocando un deterioro en la calidad de las 79 cuencas hidrográficas del país (págs. 7, 15).

Únicamente el cantón Cuenca con su planta de tratamiento ubicada en el sector de Ucubamba, es el único caso efectivo de un tratamiento de aguas residuales en el país (ETAPA EP, 2014, pág. 1).

Específicamente en la ciudad de Quito no hay tratamiento de aguas residuales, condición que provoca una pérdida de biodiversidad acuática, enfermedades en los asentamientos humanos aguas abajo y la disminución del recurso hídrico a otros grupos poblacionales (EPMAPS, 2014, párr. 1).

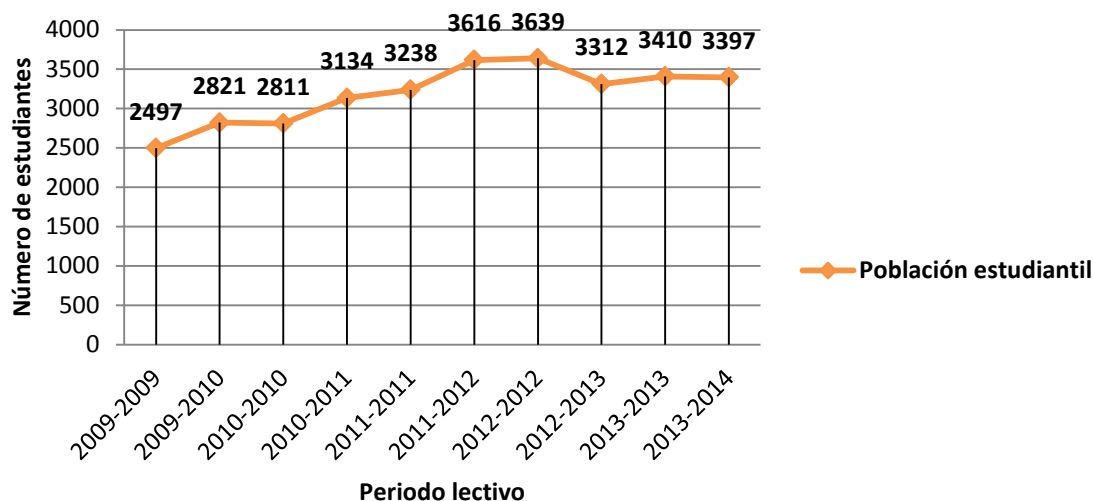
1.7 Planteamiento del problema

Según el “Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur (2013)”, la universidad producía hasta el año 2012 un caudal de aguas residuales calculado de 81583,2 litros/día, el mismo que continúa siendo descargado directamente hacia una quebrada ubicada en la parte norte del campus sin recibir tratamiento (pág. 163).

De acuerdo a la proyección realizada (Anexo 1), la tasa de crecimiento anual (cada dos semestres) de la población estudiantil de la UPS-Sur hasta el año 2014 es del 6%, consecuentemente el mencionado valor de caudal aumentará proporcionalmente

debido a su relación directa con la tasa de crecimiento estudiantil como lo demuestra la figura 1 a continuación presentada.

Figura 1. Crecimiento de la población estudiantil UPS, Campus Sur 2009-2014



Fuente: Sistema Nacional Académico UPS, 2014

1.7.1 Estimación de la contaminación generada por las descargas líquidas de la UPS-Campus Sur.

Según el “Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur (2013)”, las actividades desarrolladas dentro de este centro de educación superior generan residuos líquidos provenientes de servicios higiénicos, laboratorios, jardines, canchas y cafetería (pág. 125).

Cada una de las fuentes descritas disminuye de alguna manera la calidad del agua y al no contar con líneas de descarga separadas, todas llegan a mezclarse y a convertirse en aguas negras debido a la presencia de materia fecal.

Esta diversidad de fuentes permiten generalizar y determinar que el agua residual de la UPS-Sur está conformada por:

- Aguas negras
- Aguas grises
- Aguas pluviales

Para estimar la contaminación generada producto de las descargas líquidas efectuadas, se procedió a emplear el valor de producción per cápita (PPC) de residuos líquidos para la UPS-Sur calculado de 21,08 L/individuo.día tomado del Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur (2013, pág. 163).

$$\left(21,08 \frac{L \text{ agua residual}}{\text{estudiantes} * \text{día}}\right) (3397 \text{ estudiantes}) = 71608,76 \frac{L \text{ agua residual}}{\text{día}}$$

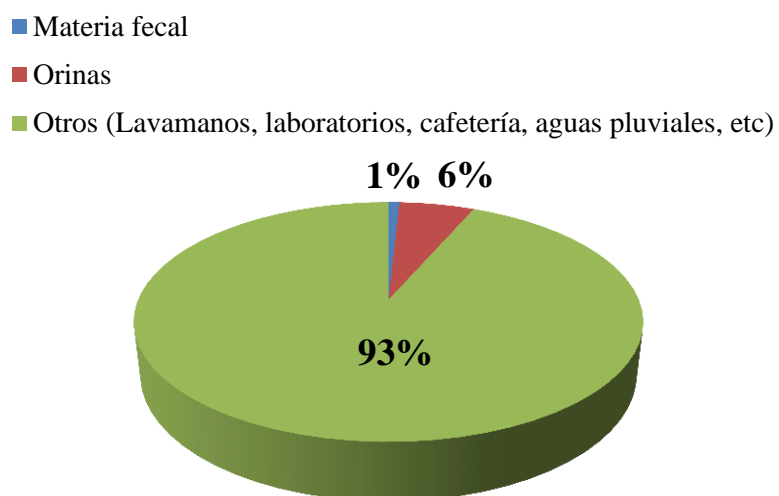
Romero (2008) menciona que la PPC para excrementos humanos húmedos y para orina es de 80-270 g/persona.día y de 1-1,3 Kg/persona.día respectivamente (pág. 21).

Estos valores proporcionan información necesaria para estimar la contaminación por desechos biológicos generados en la UPS-Sur, utilizando para ello las PPC promedio igual a 175 g/persona.día y 1,2 Kg/persona.día respectivamente. Se utilizó un valor de densidad del agua residual igual a 1 Kg/L (Ramalho, 1996, pág. 76).

$$\begin{aligned} &\left(175 \frac{g \text{ materia fecal}}{\text{estudiante} * \text{día}}\right) \left(\frac{1 \text{ Kg materia fecal}}{1000 g \text{ materia fecal}}\right) \left(\frac{1 L \text{ materia fecal}}{1 \text{ Kg materia fecal}}\right) (3397 \text{ estudiantes}) \\ &= 594,47 \frac{L \text{ materia fecal}}{\text{día}} \\ &\left(1,2 \frac{Kg \text{ orina}}{\text{estudiante} * \text{día}}\right) \left(\frac{1 L \text{ orina}}{1 \text{ Kg orina}}\right) (3397 \text{ estudiantes}) = 4076,4 \frac{L \text{ orina}}{\text{día}} \end{aligned}$$

A partir de los valores calculados se genera la figura 2, que presenta el porcentaje de composición que tienen las aguas residuales de la UPS-Sur, llegando a inferir que el 7% corresponde a desechos biológicos.

Figura 2. Composición promedio de las aguas residuales de la UPS-Sur



Elaborado por: Danny Vargas

La sedimentación propia del sistema de alcantarillado interno para la conducción de aguas residuales es insuficiente para disminuir la contaminación generada por el campus universitario, como se aprecia en la figura 3.

Figura 3. Caja de revisión característica de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur con desechos biológicos



Imagen: Danny Vargas

El 93% restante que conforma la totalidad de las aguas residuales producidas en el campus universitario corresponden a tareas análogas a las domésticas, a excepción de

las desarrolladas en los laboratorios, mismas que se determinó que contienen un total de 151,01 Kg y 44, 6 L de reactivos que potencialmente serán descartados como residuos sólidos o líquidos especiales de acuerdo al “Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur (2013, pág. 163)”.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Zona de estudio

La Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur cuenta en la actualidad con 8 edificaciones donde se realizan tareas administrativas y de enseñanza, sumándose una cafetería que en conjunto descargan aguas grises. Los bloques C, E, F y taller de mantenimiento además, de generar aguas grises descargan efluentes con presencia de sustancias químicas inherentes a sus actividades.

En la figura 4 se ilustra las edificaciones de la UPS-Sur.

Figura 4. Edificaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur



Adaptado de: Dávila & Varela, 2014, pág. 4

El campus universitario cuenta con 2 puntos de descarga final de sus aguas residuales. El primer punto de descarga se lo efectúa hacia el sistema de alcantarillado ubicado en la Av. Rumichaca, mientras que el segundo punto de descarga se lo realiza hacia la quebrada ubicada en el sector norte de la universidad tras el bloque G, junto a las instalaciones de la Cooperativa Financiera "Construcción, Comercio y Producción".

En la tabla 2 a continuación presentada se ilustra lo descrito anteriormente.

Tabla 2. *Fuentes de generación de aguas residuales*

Origen aguas residuales	Punto de descarga final
-Bloque A	Colector de alcantarillado público ubicado en la Av. Rumichaca
-Bloque H	
-Bloque B	Colector ubicado en la quebrada colindante a la Universidad Politécnica Salesiana
-Bloque C: Laboratorios de Ing. Electrónica	
-Bloque D	
-Bloque E: Laboratorio de análisis de suelos	
-Bloque F: Laboratorios Química y Microbiología	
-Bloque G	
-Taller de mantenimiento	
-Cafetería	
-Canchas deportivas	
-Fracción de aguas pluviales	
Fuente: Danny Vargas	

2.2 Línea base del área de influencia directa

Se establece que el área de influencia directa considerada para el presente estudio corresponde a la quebrada aledaña a la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur ubicada en el sector norte, detrás del bloque A y bloque G de este centro de educación superior.

El área total (Anexo 2) que ocupa la quebrada fue estimada mediante la generación de un polígono de la imagen satelital del campus universitario, obteniendo un área aproximada de 3846.94 m².

La quebrada en mención ha servido de colector durante varios años de las descargas líquidas provenientes de la parroquia de Chillogallo, viviendas aledañas y las provenientes de la mayor parte de infraestructuras de la universidad como se aprecia en la figura 5.

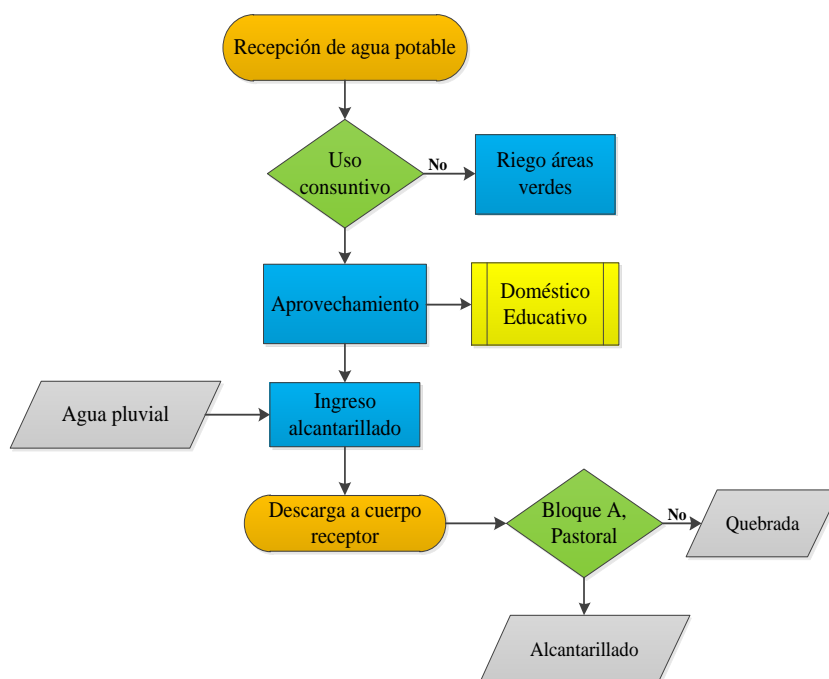
Figura 5. Quebrada que recibe directamente las descargas de agua residual



Imagen: Danny Vargas

Para una mejor comprensión de la generación de aguas residuales dentro del campus universitario desde su recepción de la red de distribución de agua potable hasta su posterior descarga como efluente, se detalla un diagrama de flujo en la figura 6.

Figura 6. Diagrama de flujo proceso de generación de aguas residuales en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur



Elaborado por: Danny Vargas

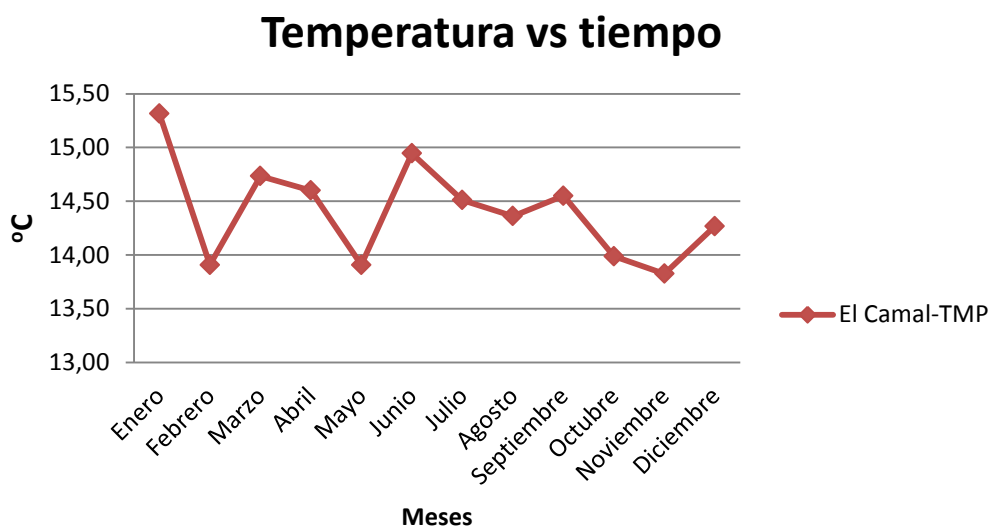
2.2.1 Climatología.

2.2.1.1 Temperatura.

Permite comparar la diferencia existente entre la descarga del agua residual y la del ambiente, a fin de conocer el rango de temperatura a la cual viven los microorganismos existentes y evaluar la capacidad de disolución del oxígeno en el agua residual (TULSMA LIBRO VI ANEXO 1, 2003, pág. 290).

El resumen del monitoreo realizado por la Red Metropolitana en el año 2013 (Anexo 3) en la estación El Camal se puede apreciar en la figura 7, en dónde la temperatura media anual para esta estación fue de 14,41 °C, siendo el mes más caluroso enero con un valor de 15,32 °C mientras que el registro más bajo fue noviembre con 13,83 °C.

Figura 7. Concentraciones de temperatura mensual año 2013



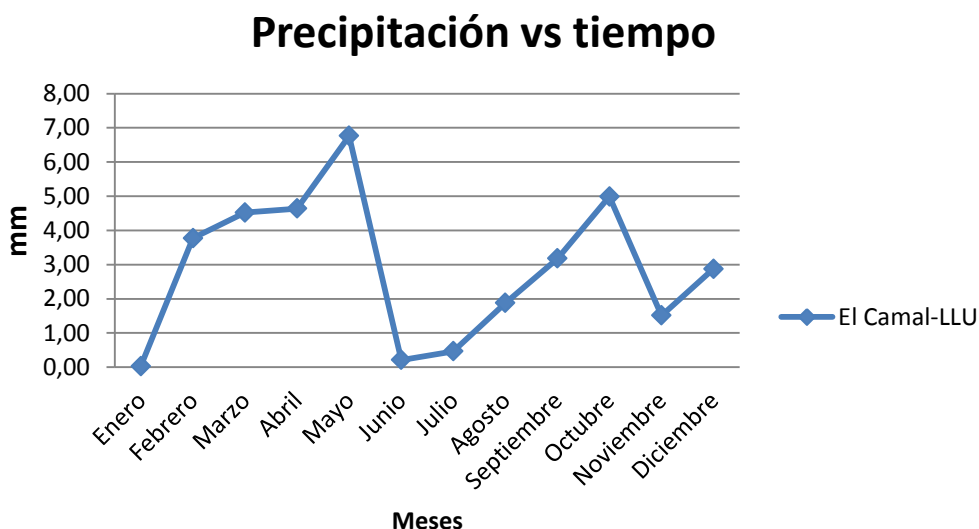
Adaptado de: Red Metropolitana de Monitoreo de Quito

2.2.1.2 Precipitación.

Este parámetro es de suma importancia debido a que el sistema de alcantarillado de la Universidad Politécnica Salesiana, no cuenta con una línea de descarga separada para aguas pluviales, por ello altas precipitaciones implican una mayor dilución de aguas residuales, disminuyendo la concentración de microorganismos presentes en la misma (Environmental Protection Agency, 2014, pág. 2).

Para el año 2013, el valor medio anual en la estación El Camal fue de 2,90 mm registrando un máximo de 6,76 mm en mayo y un mínimo de 0,03 mm en enero como se puede apreciar en la figura 8 y detalladamente en el Anexo 4.

Figura 8. Precipitación mensual año 2013



Adaptado de: Red Metropolitana de Monitoreo de Quito

2.2.2 Medio Biótico.

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con 7 especies de plantas y 14 especies de animales nativos emblemáticos basados en los criterios de la relación cotidiana que esas especies tienen con los quiteños, su importancia biológica, cultural, histórica y los niveles de amenaza a su conservación (Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales Universidad San Francisco de Quito, 2014, pág. 1).

Específicamente la parroquia de Chillogallo ha cambiado su flora y fauna nativa hace aproximadamente 20 años producto de su acelerada urbanización y cambio del uso de suelo (Análisis Ambiental Universidad Politécnica Salesiana Quito Campus Sur, 2011, pág. 14).

2.2.2.1 Flora.

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con la siguiente flora patrimonial y emblemática presentada a continuación:

- La tuna de San Antonio y Calderón (*Opuntia soederstromiana*)
- El arrayán de Quito (*Myrcianthes halli*)
- El guabo de Tumbaco y Los Chillos (*Inga insignis*)
- El chocho de Rumipamba (*Lupinus pubescens*)
- La salvia de Quito o Ñukchu (*Salvia quitensis*)
- La mora de Quito (*Rubus glaucus*) (Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales Universidad San Francisco de Quito, 2014, pág. 1).

En lo que respecta al área de influencia directa, el trabajo en campo realizado permitió identificar las siguientes especies detalladas en la tabla 3.

Tabla 3. Flora existente en el área de influencia directa

Nombre común	Nombre científico
Césped	<i>Pennisetum clandestinum</i>
Tilo	<i>Tilia cordata</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>
Pino	<i>Pinus patula</i>
Calistemo Blanco	<i>Melaleuca quinquenervia</i>

Adaptado de: Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur, 2013, pág. 54

2.2.2.2 Fauna.

Análogamente a la flora, según el Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad San Francisco de Quito (2014), las especies de fauna nativa se enlistan a continuación:

- El oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*)
- El lobo de páramo (*Lycalopex culpaeus*)
- El Tucán andino piquilaminado (*Andigena laminirostris*)

- El yumbo (*Semnornis ramphastinus*)
- El gorrión (*Zonotrichia capensis*)
- La guagsa (*Stenocercus guentheri*)
- La culebra boba o culebra verde (*Liophis epinephelus*)
- La rana marsupial andina (*Gastrotheca riobambae*)
- La rana cohete de Quito (*Hyloxalus jacobuspetersi*)
- La preñadilla (*Astroblepus cyclopus*)
- La mariposa (*Papilio polyxenes*)
- La mariposa (*Ascia monustes*)
- El catzo blanco (*Platycoelia lutescens*) (pág. 1).

La única especie nativa encontrada en el área de influencia directa fue el gorrión (*Zonotrichia capensis*), el resto de especies halladas en campo se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. *Fauna existente en el área de influencia directa*

Nombre común	Nombre científico
Mamíferos	
Rata negra	<i>Rattus rattus</i>
Ratón doméstico	<i>Mus musculus</i>
Aves	
Tórtola	<i>Zenaida auricata</i>
Mirlo	<i>Turdus fuscater</i>
Gorrión	<i>Zonotrichia capensis</i>
Picaflor	<i>Archilochus colubris</i>
Insectos	
Abeja	<i>Apis mellifera</i>
Mosca doméstica	<i>Musca doméstica</i>
Catzo	<i>Platycoelia lutescens</i>
Reptiles	
Lagartija de jardín	<i>Pholidobulus montium Teiidae</i>

Adaptado de: Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur, 2013, pág. 66

2.3 Caracterización del recurso hídrico

2.3.1 Plan de muestreo.

Se organizaron las actividades a efectuar mediante un plan de muestreo detallado en la tabla 5, con la finalidad de garantizar la representatividad de las muestras.

Tabla 5. *Plan de muestreo del agua residual*

	Factores a considerar	Observaciones
Parámetros de interés a evaluar	DBO, DQO, Sólidos totales, Cr, N total, P, K	Laboratorios Universidad Politécnica Salesiana, DPEC Universidad Central.
Elección de punto de muestreo	Punto de descarga final hacia cuerpo receptor de agua.	TULSMA LIBRO VI ANEXO 1, 2003, pág. 337
Duración de la toma de muestra	3 días	Determinar caudal. Tomar muestras puntual y compuesta
Tipo de matriz a muestrear	Agua	
Número de muestras	2 muestras	
Tipo de muestras	<ul style="list-style-type: none"> Puntual Compuesta 	Ordenanza 213 DM. Quito, 2005, pág. 17
Tamaño de muestra	<ul style="list-style-type: none"> 1000 ml (Puntual) 15000 ml (Compuesta) 	Volumen requerido para efectuar análisis en laboratorio.
Conservación de muestras	4-8 °C	NTE INEN 2169
Instrumentos y material de muestreo	Toma de muestra	
	<ul style="list-style-type: none"> Vaso de precipitación 1500 ml Bidón plástico HDPE 1500 ml 	
	Parámetros in situ	
	<ul style="list-style-type: none"> pHmetro Mettler Toledo SevenGo pro $\pm 0.5\%$ Turbidímetro Orbeco $\pm 2\%$: 0 – 500 NTU Oxímetro Mettler Toledo SevenGo Duo pro $\pm 0.5\%$ 	
	Localización	
	<ul style="list-style-type: none"> GPS Map62 Garmin 	
	Almacenamiento y transporte	
	<ul style="list-style-type: none"> Botellas plásticas limpias y homogenizadas con agua residual Cooler, hielo 	
	Bioseguridad	
	<ul style="list-style-type: none"> Mandil, guantes de látex, alcohol antiséptico, agua 	

Nota: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Cr (Cromo), N (Nitrógeno), P (Fósforo), K (Potasio), High Density Polyethylene (HDPE), Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

Adaptado de: Cuesta, 2013, pág. 58

2.3.2 Selección de los puntos de muestreo.

Los puntos de muestreo se seleccionaron basados en la relativa facilidad de acceso y conservación de las características del agua residual descargada. Estos se encuentran en la quebrada ubicada en la parte norte de la Universidad Politécnica Salesiana, bajo las instalaciones de la Cooperativa Financiera “Construcción, Comercio y Producción” como se observa a continuación en la figura 9.

Figura 9. Puntos de muestreo Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur



Elaborado por: Danny Vargas

La mencionada quebrada cuenta con varias descargas a lo largo de su trayecto, especialmente de viviendas colindantes que no se encuentran conectadas al sistema de alcantarillado público.

Por otro lado, son 4 las cargas contaminantes puntuales que producen un alto grado de contaminación debido a la diversidad de actividades que la generan y su alto valor de caudal.

La primera ubicada dentro del cauce encapsulado con hormigón proviene del colector sur Las Cuadras-Chillogallo, la segunda descarga es la perteneciente a la

UPS-Sur y las restantes pertenecen a la Cooperativa Financiera “Construcción, Comercio y Producción”.

Todas las fuentes de descarga mencionadas no reciben tratamiento antes de su descarga como se aprecia en la figura 10.

Figura 10. Puntos de descarga directa de aguas residuales hacia cuerpo receptor



Imagen: Danny Vargas

Debido a que no existe mezcla alguna entre las 4 líneas de descarga mencionadas, se seleccionó la tubería proveniente de las descargas de la UPS-Sur como punto de muestreo compuesto de sus aguas para efectuar su caracterización fisicoquímica y aislamiento de microorganismos.

Adicionalmente junto a este punto de descarga se encontró agua residual retenida que se presumía contenía microorganismos adaptados a los xenobióticos descargados, por ello también se procedió a seleccionar este sitio como punto de muestreo puntual.

2.3.3 Metodología de toma de muestras de agua residual.

El muestreo abarcó la toma de 2 muestras, una puntual y otra compuesta detallado en la tabla 6.

Tabla 6. *Muestreos realizados en la quebrada aledaña a la UPS-Sur*

Muestra	Volumen	Fuente	Propósito
AR-UPS (Compuesta)	15000 ml	Punto de descarga final de aguas residuales de la UPS-Sur hacia cuerpo receptor	1. Caracterización inicial del agua residual
			2. Aislamiento de posibles microorganismos con capacidad biorremediadora.
AR-EST (Puntual)	1000 ml	Zona estancada con agua residual	1. Aislamiento de posibles microorganismos con capacidad biorremediadora.

Elaborado por: Danny Vargas

Ambas muestras de agua residual AR-UPS y AR-EST tienen la semejanza de servir como fuente para el aislamiento de microorganismos. Se eligió tomar la muestra adicional AR-EST debido a la incertidumbre de encontrar únicamente microorganismos de origen entérico en la muestra AR-UPS, atribuido a las constantes descargas con desechos biológicos por parte de toda la comunidad universitaria y producto de ello hallar microorganismos con baja o nula actividad biorremediadora.

Consecuentemente se tomó la muestra puntual de agua residual denominada AR-EST en un área estancada y homogénea donde se evidenciaba que el agua a muestrear permanecía estancada por largos periodos de tiempo. Los microorganismos en estas zonas estarían mayormente adaptados a los contaminantes descargados (Moncayo, 2010, págs. 26-27).

La caracterización de parámetros fisicoquímicos a nivel de laboratorio se los realizó únicamente a la muestra de código AR-UPS, debido a ser el analito con el que se trabajará en su depuración.

2.3.3.1 Toma de muestra compuesta de agua residual.

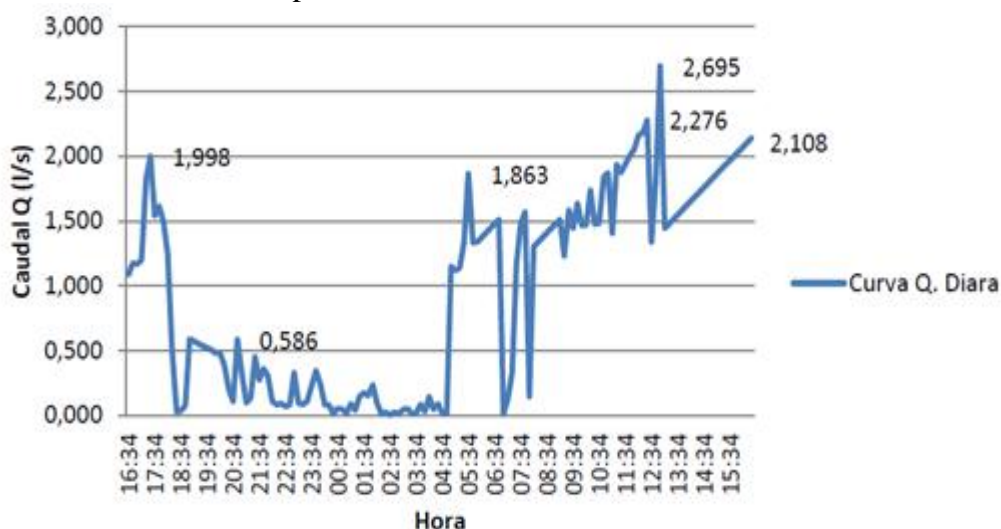
El trabajo realizado en campo permitió determinar que la Universidad Politécnica Salesiana genera durante su período diario de actividades una variación constante en su caudal.

Por lo tanto la toma de una muestra compuesta garantizó la representatividad de la descarga de agua residual de la UPS-Sur.

Para efectuar los análisis en laboratorio se requería una muestra compuesta de 15000 ml, para ello se tomaron 14 alícuotas instantáneas de 1500 ml cada una con su respectivo valor de caudal instantáneo durante 2 días (Ramalho, 1996, págs. 78,79).

Las alícuotas fueron tomadas en las horas con mayores puntas de caudal. Estas correspondieron al intervalo de 10:30 am a 13:30 pm, como se detalla en la figura 11.

Figura 11. Curva diaria de descarga de aguas residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur



Fuente: Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur, 2013, pág. 129).

La sumatoria de las 14 alícuotas instantáneas permitió conformar la muestra compuesta requerida para la caracterización inicial del agua residual de la UPS-Sur y el aislamiento de microorganismos.

Detalle de la toma de las alícuotas instantáneas se observan en la figura 12.

Figura 12. Metodología de muestreo compuesto de agua residual UPS-Sur



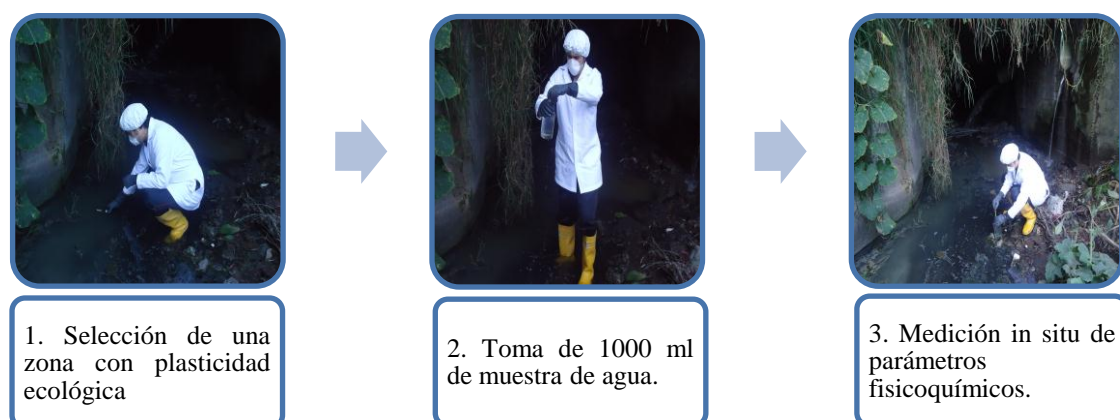
Elaborado por: Danny Vargas

2.3.3.2 Toma de muestra puntual de agua residual.

La toma de esta muestra se realizó con la única finalidad de obtener posibles microorganismos nativos en condiciones de plasticidad ecológica, es decir adaptados a las condiciones propias de las descargas (Garmendia, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005, pág. 14).

Para dicho fin se ubicó una zona que contenía agua en condiciones de estancamiento recolectando un volumen total de 1000 ml y midiendo *in situ* los valores de temperatura, pH y turbidez como se aprecia en la figura 13.

Figura 13. Metodología de muestreo puntual de agua residual estancada



Elaborado por: Danny Vargas

Cabe indicar que la muestra puntual recogida obedecía a una mezcla heterogénea de contaminantes conformados en su mayoría por tensoactivos, aceites lubricantes y materia fecal como se observa a continuación.

Figura 14. Características de la muestra de agua residual puntual



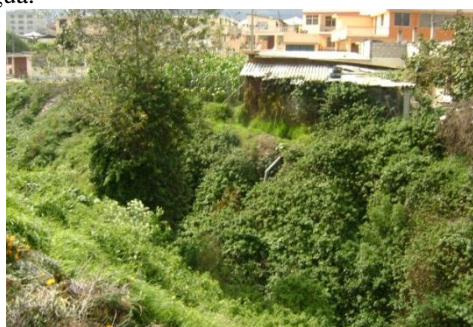
Efluente origen de la muestra de agua puntual



Descargas de aceites lubricantes hacia cuerpo de agua.



Película de aceite lubricante sobre la descarga de agua residual



Viviendas aledañas a la quebrada con descargas puntuales de agua residual

Elaborado por: Danny Vargas

2.4 Microbiología del agua residual de la Universidad Politécnica Salesiana-Campus Sur

A continuación se presenta en la figura 15 la metodología aplicada para la obtención de inóculos nativos de las muestras de agua residual de la universidad, mismos que se utilizaron posteriormente en los ensayos de biodegradación.

Figura 15. Elaboración de inóculos bacterianos nativos



Adaptado de: Bravo, 2014

2.4.1 Procesamiento de muestras.

La muestra puntual (AR-EST) y compuesta (AR-UPS) fueron recibidas mediante cadena de custodia en el laboratorio de Microbiología de la carrera de Ingeniería Ambiental.

Inmediatamente están fueron puestas en refrigeración a una temperatura de 4 °C con la finalidad de mantener en estado de latencia a los microorganismos presentes en las muestras hasta el momento requerido para su utilización.

2.4.1.1 Activación de microorganismos presentes en las muestras de agua residual.

Al introducir microorganismos en un medio de cultivo nuevo no se produce un aumento inmediato del número de células o de masa, se necesita un período de adaptación denominado fase de latencia (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 119).

Según Prescott, Harley, & Klein (2004), una fase de latencia previa al comienzo de la división celular puede ser necesaria por diversas razones:

- Las células pueden ser viejas y poseer cantidades reducidas de ATP, cofactores esenciales o de ribosomas; estas sustancias deben sintetizarse antes que se inicie el crecimiento.
- El medio puede ser diferente al anterior donde crecían los microorganismos; en este caso, necesitará nuevas enzimas para usar esos otros nuevos nutrientes.
- Los microorganismos pueden haberse alterado y necesitan un tiempo de recuperación.
- Durante la fase de latencia las células se equipan de nuevo, replican su ADN, comienzan a incrementar su masa y por último se dividen.
- Su duración varía considerablemente según el estado de los microorganismos y la naturaleza del medio. Esta fase puede ser bastante larga si el inóculo procede de un cultivo viejo o de uno que haya sido refrigerado (pág. 120).

Como se acaba de expresar, la fase de latencia es de suma importancia para la activación de microorganismos, en especial cuando las muestras son refrigeradas. Como resultado de ello se procedió a la activación de los microorganismos presentes en ambas muestras de agua residual (AR-UPS y AR-EST), generando las condiciones necesarias para el paso de la fase de latencia hacia la de crecimiento.

Para lograr este fin, inicialmente se procedió a descongelar las 2 muestras de agua residual durante 15 minutos hasta que las muestras alcanzaron la temperatura ambiente, como se aprecia en la figura 16.

Figura 16. Muestras de agua residual alcanzando la temperatura ambiente

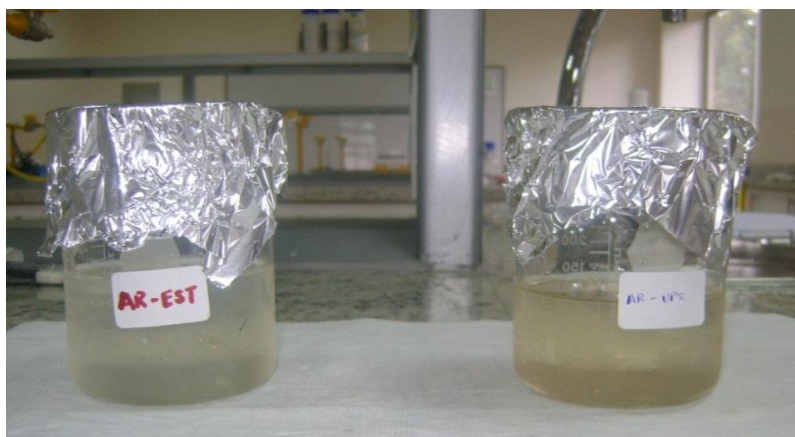


Imagen: Danny Vargas

2.4.1.2 Esterilización del material.

Antes de iniciar con la siembra, se procedió a esterilizar todo el material en un equipo autoclave durante 15 min. a 121 °C, con la finalidad de eliminar cualquier tipo de microorganismo propio del ambiente, en especial células vegetativas y endosporas (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 150).

A continuación, se procedió a ingresar todo el material esterilizado dentro de una cámara de flujo marca ESCO, para finalmente exponer el material nuevamente durante 15 minutos a radiación UV para evitar algún tipo de contaminación cruzada durante el traslado del material desde el autoclave hasta la cámara. Ver figura 17.

Figura 17. Materiales y equipos usados en el aislamiento, purificación y conservación de microorganismos sembrados



Imagen: Danny Vargas

2.4.2 Siembra y aislamiento.

2.4.2.1 Selección de medios de cultivo.

Crites & Tchobanoglous (2000) mencionan a 6 como los principales grupos de microorganismos presentes en aguas naturales y residuales estos son:

1. Bacterias
2. Hongos (levaduras)
3. Protozoos
4. Rotíferos
5. Algas
6. Virus (pág. 79).

Del conjunto mencionado anteriormente, se seleccionaron para su sembrado en medios de cultivo sólido a: bacterias, hongos y levaduras por las siguientes razones:

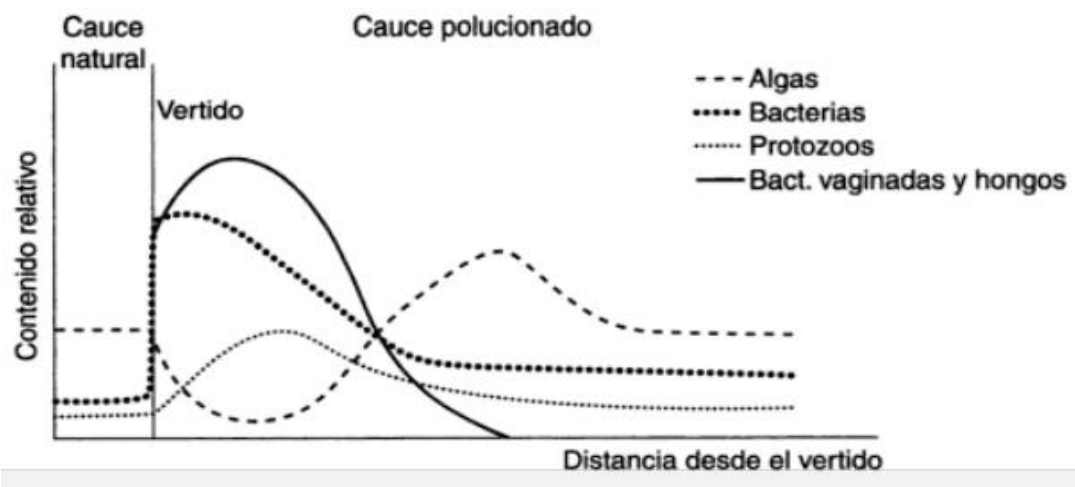
1. Marín (2003) afirma que aguas residuales con alta carga orgánica son ricas en bacterias y hongos, sobre todo levaduras y hongos levaduriformes (pág. 102).
2. Crites & Tchobanoglous (2000) mencionan que tanto protozoos y rotíferos son usados para el pulimento final de los efluentes una vez finalizado el tratamiento biológico, es así que los primeros se alimentan de bacterias y

materia orgánica particulada y los segundos son efectivos en el consumo de bacterias floculadas, dispersas y algunas partículas de materia orgánica (pág. 79).

Este particular se revalida en la figura 18, que permite observar el crecimiento de las poblaciones de bacterias y hongos en las primeras etapas del vertido de agua residual.

Cuando estas poblaciones de bacterias y hongos empiezan a mermar en su desarrollo, la tasa de crecimiento de protozoos y algas se ve estimulada debido a que estas últimas poblaciones están involucradas en su mengua.

Figura 18. Influencia de un vertido residual orgánico sobre la microbiología del cauce natural receptor



Fuente: Marín, 2003, pág. 103

Posterior a este análisis, los medios de cultivo sólido seleccionados para efectuar el sembrado se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. *Medios de cultivo sólidos utilizados para la identificación de microorganismos presentes en el Agua Residual UPS-Sur*

Medios para uso general	
Nombre medio	Uso
Agua de peptona	Diluciones del agua residual UPS-Sur
Medios para aislamiento e identificación	
Nombre medio	Uso
Yeast Extract Peptone Dextrose (YPD)	Siembra, identificación, aislamiento de levaduras
Agar Dextrosa Saboraud (SDA)	Siembra, identificación, aislamiento de hongos
Agar nutritivo	Siembra, identificación, aislamiento de bacterias aerobias
Elaborado por: Danny Vargas	

2.4.2.2 Dilución.

Las muestras de agua residual cruda AR-UPS y AR-EST contienen una gran cantidad de microorganismos que dificultan el proceso de identificación y conteo. Por tal motivo, antes de efectuar una siembra directa en los 3 medios de cultivo sólido (nutritivo, saboraud y YPD) se procedió a efectuar diluciones seriadas en agua de peptona.

Inicialmente se efectuaron diluciones de agua residual cruda comprendidas entre 10^{-6} hasta 10^{-9} , pero los resultados posteriores mostraron un nulo desarrollo de microorganismos debido a su agotamiento al efectuar las diluciones en estos altos rangos.

Con estos antecedentes se procedió a efectuar, usando la misma agua residual cruda, diluciones con un menor rango que comprendió valores desde 10^{-1} hasta 10^{-5} , sumándose una caja Petri con agua residual cruda. En estos medios de cultivo si se evidenció crecimiento de microorganismos.

Al finalizar este proceso se había diluido el agua residual cruda desde los rangos 10^{-1} hasta 10^{-9} .

Se debe resaltar que este procedimiento coadyuvó al proceso de activación debido a que el agua peptonada permite recuperar células dañadas y puede ser utilizada como diluyente de muestras en sustitución de la solución fisiológica (Laboratorios Britania, 2014, pág. 1).

2.4.2.3 Siembra profunda y aislamiento.

A continuación usando las diluciones preparadas, se procedió a mezclar estas con sus respectivos agares temperados para realizar el vertido en las respectivas cajas Petri (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 112).

Se sembraron mediante la técnica de siembra profunda un total de 39 cajas Petri para cada medio de cultivo, esto con el fin de sembrar por duplicado y contar con una caja Petri como blanco de muestra. El blanco de muestra estuvo constituido únicamente por agua de peptona y medio de cultivo sólido.

Todas las cajas Petri sembradas se procedieron a incubar a una temperatura de 37 °C durante 96 horas. Detalles de la siembra efectuada se pormenorizan en la tabla 8 y en la figura 19.

Tabla 8. *Número de cajas Petri sembradas por cada medio de cultivo sólido*

Fuente	Blanco	Siembra directa	Diluciones									TOTAL MEDIO DE CULTIVO
			10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	
Muestra compuesta	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39
Muestra Puntual		1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Elaborado por: Danny Vargas

Figura 19. Siembra de muestras de agua residual mediante siembra profunda

1. Ingreso material esterilizado en la cámara de flujo



2. Diluciones seriadas de muestras de agua residual



3. Sembrado de diluciones mediante técnica de siembra profunda



4. Incubación de cajas Petri sembradas



Elaborado por: Danny Vargas

2.4.3 Identificación de microorganismos.

2.4.3.1 Conteo de Unidades Formadoras de Colonias.

Una vez efectuada la incubación de todas las cajas Petri sembradas en los diferentes medios de cultivo, se procedió a efectuar el control del crecimiento a las 96 horas a través de un recuento en placa de las Unidades Formadoras de Colonia (UFC) como se presenta en la figura 20.

Figura 20. Recuento manual de UFC en cajas Petri



a) Verificación de crecimiento de microorganismos.



b) Medidas de bioseguridad para el recuento de microorganismos.

Elaborado por: Danny Vargas

2.4.3.2 Morfología.

2.4.3.2.1 Macroscópica.

Esta identificación consistió en la verificación de la forma y elevación de cada colonia de microorganismos, mismas que son masas visibles a simple vista.

2.4.3.2.2 Microscópica.

Para el proceso de identificación de microorganismos, se seleccionaron las cajas Petri que evidenciaron crecimiento en los medios de cultivo sólidos procediendo a formar extendidos fijados con calor para efectuar la tinción Gram según señalan Tortora, Funke, & Case (2007, págs. 69, 70).

Posteriormente se observaron las placas en un microscopio digital identificando la morfología y agrupación de los microorganismos encontrados.

2.4.4 Conformación de inóculos.

Una vez identificados los microorganismos presentes en las muestras de agua residual de la UPS-Sur, se procedió a conformar los respectivos inóculos para su posterior ensayo de biodegradación de la materia orgánica.

Se conformaron un total de 6 inóculos microbianos nativos denominados: UPS1, UPS2, UPS3, EST1, EST2 y EST3 en tubos de ensayo de 10 ml.

Un mayor detalle de su conformación se aprecia en el siguiente capítulo.

2.5 Sistema de hipótesis

La DBO_5 y DQO se reduce en agua residual proveniente de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur mediante un inóculo nativo a escala de laboratorio.

2.6 Diseño experimental

Se empleó un arreglo factorial 2 X 3 (tabla 9). La variable evaluada en este estudio fue el porcentaje de remoción de materia orgánica medida a través de la DBO₅ y DQO.

Tabla 9. *Arreglo factorial de 2 X 3 utilizado en el diseño experimental*

Factor 1: Origen del inóculo	Factor 2: Dilución
O1: Agua residual Universidad Politécnica Salesiana	D1: 10 ⁻¹
O2: Agua residual quebrada aledaña a la Universidad Politécnica Salesiana	D2: 10 ⁻²
	D3: 10 ⁻³

Nota: Factor origen (O), factor dilución (D)

Elaborado por: Danny Vargas

La investigación realizada a través del diseño experimental planteado cuenta además con las siguientes características:

- Tipo de datos a analizar: Cuantitativa
- Condiciones de estudio: De campo
- Utilización del conocimiento: Aplicada
- Rigurosidad del método empleado: Diseño factorial 2 x 3

2.6.1 Montaje del diseño experimental.

El diseño experimental para la remoción de materia orgánica se realizó en matraces Erlenmeyer de 100 ml, a los cuales se les colocó 80 ml de agua residual cruda proveniente de las descargas líquidas de la UPS-Sur junto con 10 ml de cada una de las respectivas concentraciones de los inóculos conformados: UPS1, UPS2, UPS3, EST1, EST2 y EST3 por duplicado.

En consecuencia se conformaron un total de 12 matraces Erlenmeyer a ensayar junto con 2 matraces con agua residual cruda y sin inóculo que sirvieron de testigos, generando un total de 14 Erlenmeyer colocados al azar en un agitador orbital marca TECNAL TE-420 controlando las variables de temperatura (°C) y agitación (rpm) como se aprecia en la figura 21.

Figura 21. Incubación de unidades experimentales



Imagen: Danny Vargas

Las unidades experimentales se mantuvieron en agitación constante a 45 rpm a 35 °C, con la finalidad de evitar sedimentación en las unidades experimentales, utilizar velocidades de rotación típicas de discos biológicos y evitar daño a las estructuras celulares de los microorganismos (Crites & Tchobanoglous, 2000, pág. 620).

Se tomaron muestras cada 24 horas mediante alícuotas de 7 ml para los análisis de DQO y turbidez durante 5 días y de 6 ml adicionales para análisis de DBO₅ al quinto día.

El tratamiento efectuado en las unidades experimentales se asimiló a un sistema con crecimiento suspendido, ya que los microorganismos se mantuvieron en suspensión durante todo el ensayo (Universidad Nacional de Colombia, 2008, pág. 24).

2.6.1.1 Duración.

La experimentación tuvo una duración de 5 días, debido a que este es el tiempo requerido para medir la DBO₅, estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico y evaluar eficiencia de los procesos de tratamiento (Romero, 2008, pág. 38).

2.6.1.2 Análisis de datos.

Se realizó el análisis de datos en el software estadístico IBM SPSS Statistics 20®.

Para comprobar la homogeneidad de la varianza de DBO_5 y DQO en todos los grupos estudiados se realizó la prueba de Levene.

Con el análisis de varianza (ANOVA), para el arreglo factorial 2 X 3 se pudo determinar si existía algún tratamiento diferente al resto en cuanto a DBO_5 y DQO. Con las pruebas de Tukey se diferenciaron los diversos grupos en función a la DBO_5 y DQO. Además se determinó el mejor de los grupos para la degradación de materia orgánica.

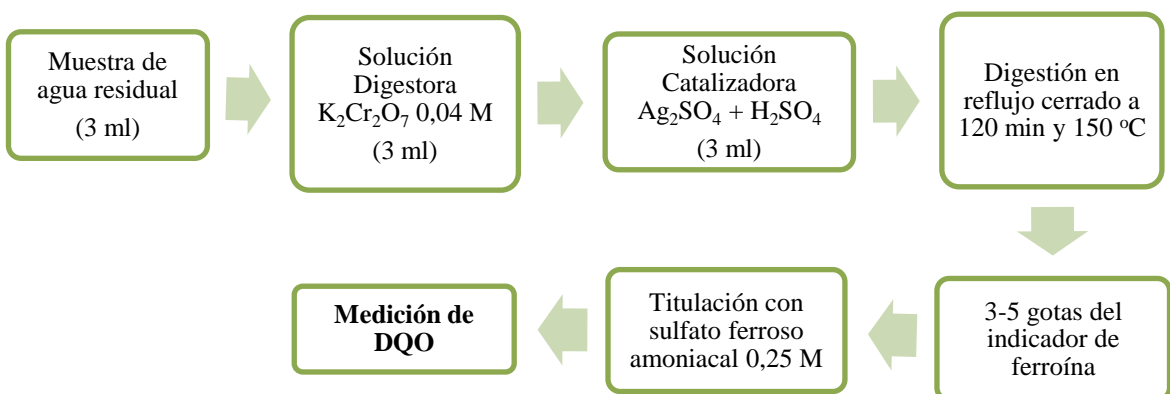
2.7 Medición de la Demanda de Oxígeno

2.7.1 Medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Para su medición diaria se procedió a extraer de las unidades experimentales un volumen de 3 ml mediante jeringas estériles de 10 ml, evitando de esta manera contaminación cruzada con microorganismos propios del ambiente que pudieran afectar los resultados.

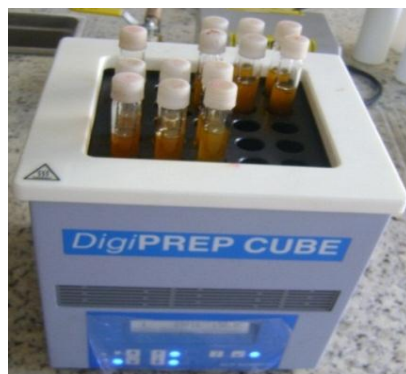
Para ello se presenta las siguientes figuras 22 y 23 que ilustran la metodología utilizada para la determinación de la DQO.

Figura 22. Metodología para la determinación de DQO



Adaptado de: Radojevic & Bashkin, 2006, pág. 196

Figura 23. Determinación diaria de la DQO en unidades experimentales



- a) Extracción de alícuotas de unidades experimentales mediante jeringas estériles. b) Digestión de muestras durante 120 min. a 150 °C previamente adicionadas soluciones digestora y catalizadora.



- c) Adición del indicador de ferroína. d) Titulación mediante solución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M.

Elaborado por: Danny Vargas

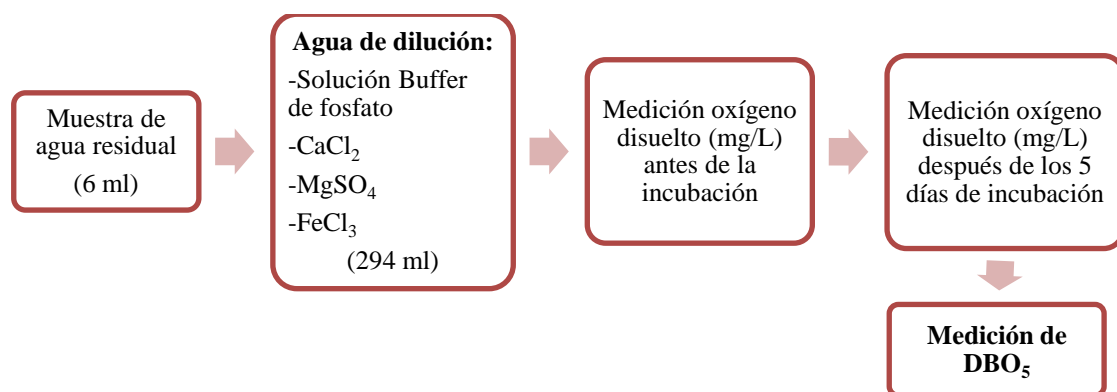
2.7.2 Medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Su medición se la determinó únicamente al finalizar el ensayo debido a su duración prolongada de 5 días.

Consistió en colocar un volumen de 6 ml de la muestra a ensayar en una botella Winkler color ámbar de 300 ml aforada con agua de dilución, para posteriormente medir la concentración de oxígeno disuelto (OD) en la muestra al principio del test y al cabo de 5 días con su respectivo testigo mediante el uso de un oxímetro marca Mettler Toledo SevenGo Duo pro $\pm 0.5\%$ (Masters & Ela, 2008, pág. 210).

La metodología descrita anteriormente se ilustra en las figuras 24 y 25 a continuación presentadas.

Figura 24. Metodología para la determinación de DBO₅



Adaptado de: Radojevic & Bashkin, 2006, pág. 189

Figura 25. Determinación de la DBO₅ en unidades experimentales



a) Preparación de la dilución de las muestras en frascos Winkler de 300 ml.



b) Incubación durante 5 días a 20 °C de las muestras a analizar.

Elaborado por: Danny Vargas

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Conformación de la muestra compuesta de agua residual de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur

La muestra compuesta precisó la mezcla de muestras individuales tomadas en diferentes momentos, datos que se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. *Características de las muestras de agua residual recogidas del vertido de la UPS-Sur hacia cuerpo receptor*

	Número muestra	Caudal [ml/s]	Temperatura [°C]	pH	Hora
Día 1	1	250	20,1	9,99	11:30
	2	500	25,3	9,99	11:45
	3	333	20,2	9,98	12:00
	4	333	24,9	9,83	12:15
	5	250	32,5	10,15	12:30
	6	500	23,6	9,77	12:45
	7	77	24	9,84	13:00
Día 2	8	333	20,6	9,61	11:25
	9	250	20,2	9,69	11:40
	10	333	19,3	9,63	11:55
	11	1000	21	9,77	12:10
	12	500	19,5	9,84	12:25
	13	500	21,9	9,81	12:40
	14	333	21,5	9,84	12:55
	Qm	392			

Elaborado por: Danny Vargas

Para determinar el volumen de muestra necesaria por cada unidad de caudal, se procedió a usar la siguiente ecuación 1.

Ecuación 1. Ecuación para la conformación de muestras compuestas de agua residual

$$\frac{Vi}{Qi} = \frac{V}{nQm}$$

Fuente: (Ramalho, 1996, págs. 78,79).

En la misma se obtiene V_i :
$$V_i = \frac{V}{nQ_m} Q_i$$

En dónde:

V_i [ml]	=	Volumen de cada muestra individual
Q_i [ml/s]	=	Caudal instantáneo en el momento en que la muestra es tomada
V [ml]	=	Volumen total de la muestra compuesta a tomar
n	=	Número de muestras
Q_m [ml/s]	=	Caudal medio

Al reemplazar sus valores correspondientes, se genera la siguiente tabla 11 con las alícuotas que conformaron la muestra compuesta de 15000 ml. Requerida.

$$V = 15000 \text{ ml}$$

$$n = 14$$

$$Q_m = 392 \text{ ml/s}$$

Tabla 11. *Alícuotas que conformaron la muestra compuesta de agua residual UPS-Sur*

	Número muestra	Q_i [ml/s]	V_i Alícuotas [ml]
Día 1	1	250	683
	2	500	1365
	3	333	910
	4	333	910
	5	250	683
	6	500	1365
	7	77	210
Día 2	8	333	910
	9	250	683
	10	333	910
	11	1000	2730
	12	500	1365
	13	500	1365
	14	333	910
		Q_m [ml/s]	Volumen muestra compuesta [ml]
		392	15000

Elaborado por: Danny Vargas

Una vez calculado el volumen de alícuotas necesarias, estas se procedieron a medir en una probeta graduada de 1000 ml, se vaciaron en un vaso de precipitación y se trasvasaron a un bidón plástico de 15000 ml con la finalidad de homogenizar la muestra, separarlas en recipientes plásticos, etiquetarlos y enviarlos a los laboratorios respectivos para sus análisis en un recipiente *cooler* refrigerado a 4 °C como se presenta en la figura 26 (NTE INEN 2169, 1998, pág. 5).

Figura 26. Conformación de la muestra compuesta aguas residuales UPS-Sur



Elaborado por: Danny Vargas

En la tabla 12 se presentan detalles de las muestras enviadas a sus respectivos laboratorios.

Tabla 12. Identificación de muestras enviadas a los laboratorios de análisis en aguas

Código de muestra	Origen	Longitud	Latitud	Volumen [ml]	Análisis a efectuar	Laboratorio
AR-ST	Muestra compuesta de aguas residuales UPS-Sur	772748 E	9968927 N	1500	Sólidos totales	UPS
AR-MIC				1500	Aislamiento de microorganismos	UPS
AR-MET				3000	Cromo Hexavalente	UPS
AR-FENUT				3000	DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Potasio, Fenoles	DPEC-UCE

Elaborado por: Danny Vargas

3.1.1 Resultados de la muestra compuesta de agua residual de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur (Caracterización físico-química).

Una vez efectuada la caracterización físico química de la muestra compuesta de agua residual a nivel de laboratorio (Anexos 5 y 6), se procede a condensar la información en la tabla 13.

Tabla 13. *Resultados caracterización inicial del agua residual UPS-Sur*

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite alcantarillado		Límite cauce de agua	
			*TULSMA	**OM 213	*TULSMA	**OM 213
Temperatura	°C	22,0	< 40	< 40	< 35	< 35
Turbidez	NTU	88,93	-----	-----	-----	-----
Potencial de hidrógeno, pH		9,44	5 a 9	5 a 9	5 a 9	5 a 9
Oxígeno disuelto, OD	mg/L	6,26	-----	-----	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg/L	121,92	250	120	100	70
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	280	500	240	250	123
Sólidos sedimentables	mg/L*h	1,1	20	10	1,0	1,0
Sólidos suspendidos	mg/L	366	220	95	100	53
Sólidos totales	mg/L	686	1600	-----	1600	-----
Fenoles	mg/L	0,404	0,2	0,2	0,2	0,2
Cromo hexavalente, Cr6+	mg/L	1,62	0,5	0,5	0,5	0,5
Potasio	mg/L	<0,025	-----	-----	-----	-----
Nitrógeno Total	mg/L	85	40	-----	15	-----
Fósforo Total	mg/L	21,11	15	15	10	10

Nota: * Límites máximos permisibles de descarga hacia sistema de alcantarillado público y a cuerpo de agua o receptor: Agua dulce, según Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario Libro VI Anexo 1, tablas 11 y 12 respectivamente.

** Límites máximos permisibles por cuerpo receptor, según ordenanza 213, tabla B.1: TODOS LOS SECTORES PRODUCTIVOS. EXCEPTUANDO AL SECTOR TEXTIL Y AL SECTOR DE BEBIDAS GASEOSAS, EMBOTELLADORAS CERVECERÍA.

Elaborado por: Danny Vargas

Basado en los resultados de laboratorio obtenidos en la tabla 13, los parámetros que sobrepasan la normativa ambiental de descarga hacia un cauce de agua en la legislación nacional TULSMA Libro VI Anexo 1, tablas 11 y 12, así como en la Ordenanza Municipal 0213 tabla B.1 y los problemas que estos generan aguas abajo se particularizan en la tabla 14.

Tabla 14. *Parámetros que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP) de descarga hacia cauce de agua TULSMA Libro VI Anexo 1, Ord. 0213 DM. Quito y posibles problemas generados*

Parámetro fuera de LMP	Problemas
pH	<ul style="list-style-type: none"> • Alcalinidad en el agua. • Interferencia en los tratamientos. • Predominio del nitrógeno en forma de amoníaco (NH₃) (Romero, 2008, pág. 66)
DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la cantidad de oxígeno presente en el agua. • Muerte de biota acuática. (Diccionario Enciclopédico Dominicano de Medio Ambiente, 2014)
DQO	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva cantidad de compuestos no oxidables por vía biológica que reducen la cantidad de oxígeno presente en el agua (Romero, 2008, pág. 54).
Sólidos sedimentables	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de alta cantidad de lodo en los sistemas de tratamiento (Romero, 2008, pág. 68).
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> • Desagradables a la vista (poco estéticos) • Proveen superficies de adsorción para agentes químicos y biológicos. • Disminuyen el paso de radiación solar al incrementar la turbidez en el agua. • Modifican la coloración del agua. • Crean condiciones de anaerobiosis. (Campos, 2003, pág. 49)
Fenoles	<ul style="list-style-type: none"> • Causan problemas de sabores en aguas de consumo tratadas con cloro. • Generan altas demandas de oxígeno (Romero, 2008, pág. 58).
Nitrógeno y Fósforo Total	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrofización de corrientes naturales, entre las que se cuentan los lagos y embalses (González & Saldarriaga, 2008, pág. 46).
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad en organismos vivos al presentarse cantidades elevadas (Crites & Tchobanoglous, 2000, pág. 54).

Elaborado por: Danny Vargas

3.2 Resultados del muestreo puntual *in situ*

Tabla 15. *Valores in situ de la muestra puntual de agua en zona con estancamiento*

	Número muestra	Temperatura [°C]	pH	Turbidez [NTU]	Hora
Día 3	1	16,6	7,7	29,65	8:00

Elaborado por: Danny Vargas

Una vez tomada la muestra de agua, se procedió a su etiquetado, transporte y conservación hacia el laboratorio, en donde se procedió a refrigerarla a una temperatura de 4 °C (NTE INEN 2169, 1998, pág. 5).

Los detalles de este muestreo se pormenorizan en la tabla 16.

Tabla 16. *Identificación de muestra puntual de agua residual*

Código de muestra	Origen	Longitud	Latitud	Volumen [ml]	Análisis a efectuar	Laboratorio
AR-EST	Muestra puntual de agua estancada	772745 E	9968939 N	1000	Aislamiento de microorganismos	UPS

Elaborado por: Danny Vargas

3.3 Resultados del número de Unidades Formadoras de Colonias contabilizadas mediante técnica de recuento en placa para las muestras de agua residual UPS y EST.

En la tabla 17 se presenta el número de UFC contabilizadas para los diferentes medios de cultivo. En ciertas diluciones se obtuvo un número mayor a 300 UFC, pero para que los valores sean estadísticamente fiables, se seleccionaron aquellas que no excedían las 300 UFC (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 125).

Tabla 17. *Número de UFC promedio presentes en muestras de agua residual*

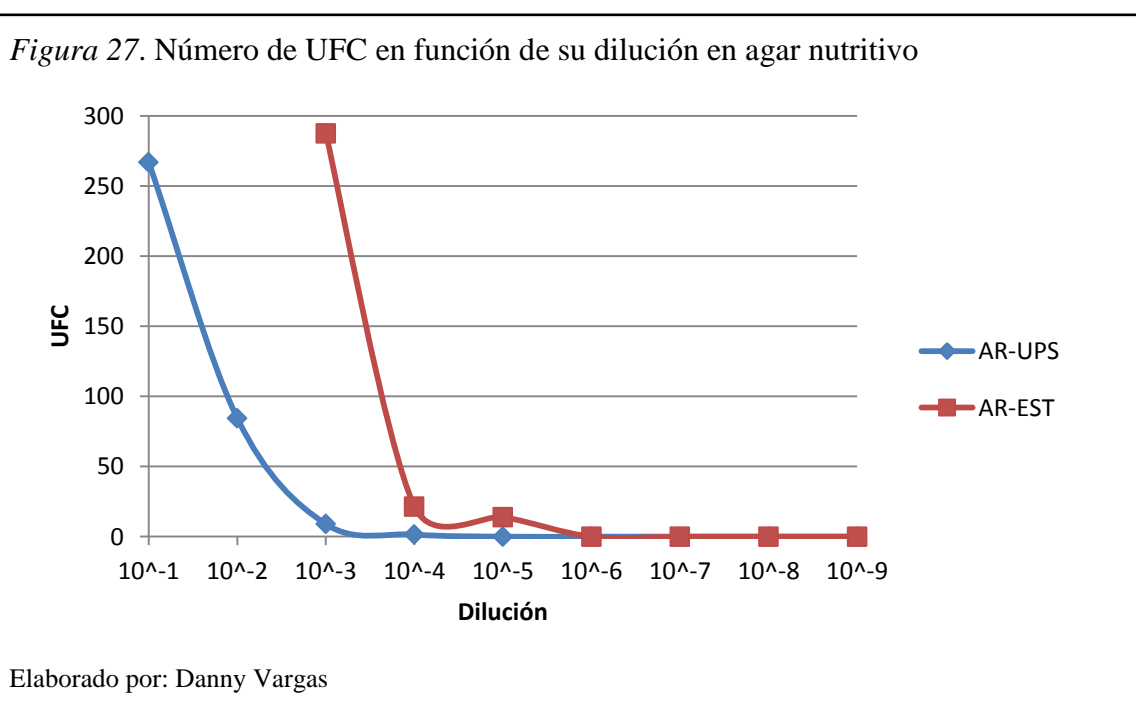
Dilución	Agar Nutritivo		Agar Saboraud		Agar YPD	
	AR-UPS [UFC]	AR-EST [UFC]	AR-UPS [UFC]	AR-EST [UFC]	AR-UPS [UFC]	AR-EST [UFC]
10^{-1}	267	> 300	238	262	> 300	> 300
10^{-2}	85	> 300	16	83	46	64
10^{-3}	9	288	1	4	6	29
10^{-4}	2	22	> 300	Sin crecimiento	4	2
10^{-5}	Sin crecimiento	14	0	Sin crecimiento	4	Sin crecimiento
10^{-6}	Sin crecimiento	Sin crecimiento	15	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
10^{-7}	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
10^{-8}	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
10^{-9}	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento

Elaborado por: Danny Vargas

En las diluciones sembradas a partir de 10^{-6} , no se obtuvieron resultados de crecimiento, a excepción de AR-UPS Saboraud, esto se debe principalmente a que se agotó el número de UFC fruto de las diluciones seriadas efectuadas anteriormente (Tortora, Funke, & Case, 2007, pág. 178).

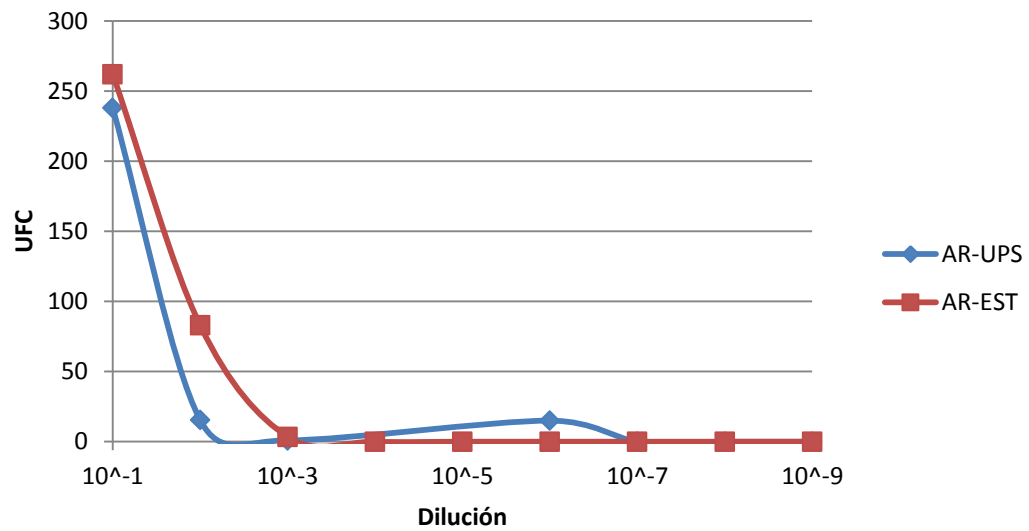
Este particular se corrobora al efectuar la curva de diluciones para las muestras de agua AR-UPS y AR-EST presentadas en las figuras 27, 28 y 29.

En la figura 27 se observa que las UFC sembradas en agar nutritivo empiezan a disminuir hasta alcanzar un valor asintótico al eje de las abscisas. Este comportamiento asintótico se entiende como ausencia de UFC y se aprecia a partir de las diluciones 10^{-3} y 10^{-4} para AR-UPS y AR-EST respectivamente.



De forma similar en la figura 28 se aprecia un comportamiento asintótico a partir de la dilución 10^{-2} para el caso del AR-UPS y de 10^{-3} para el AR-EST para los microorganismos sembrados en agar saboraud.

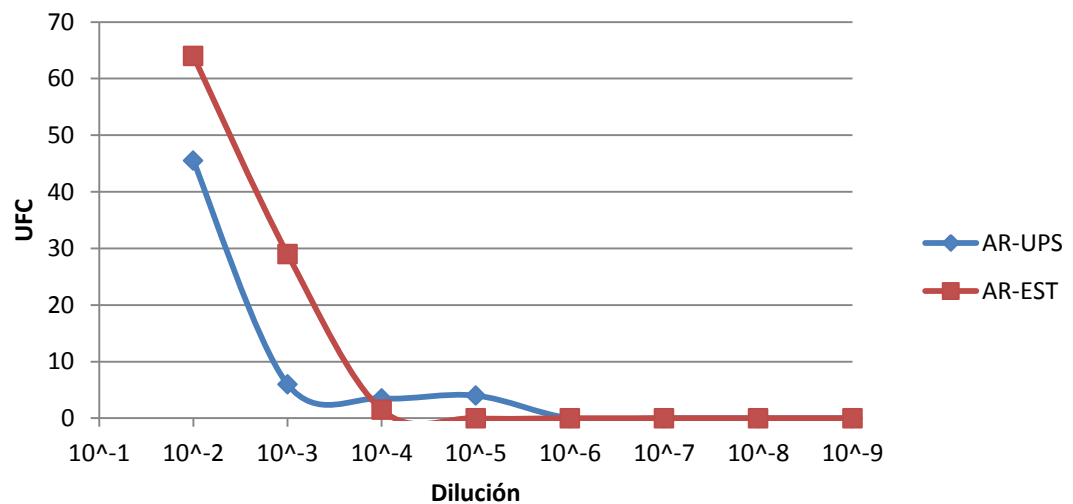
Figura 28. Número de UFC en función de su dilución en agar Saboraud



Elaborado por: Danny Vargas

Finalmente en la figura 29 se observa el punto donde comienza el comportamiento asintótico de microorganismos en agar YPD, mismo que fue de 10^{-3} para el AR-UPS y 10^{-4} para el AR-EST.

Figura 29. Número de UFC en función de su dilución en agar YPD

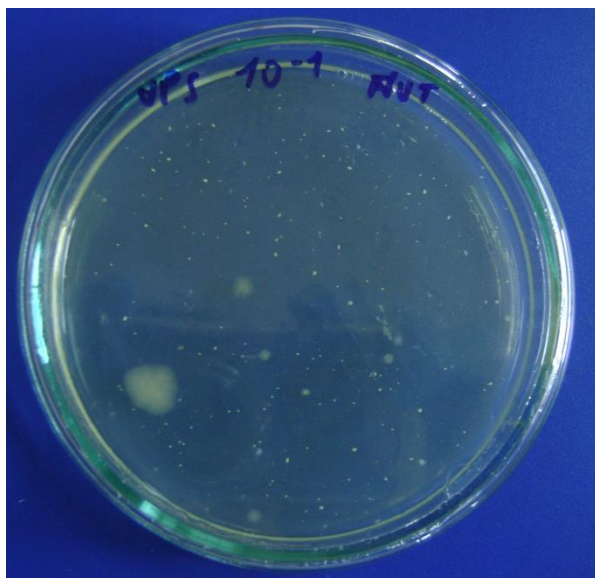


Elaborado por: Danny Vargas

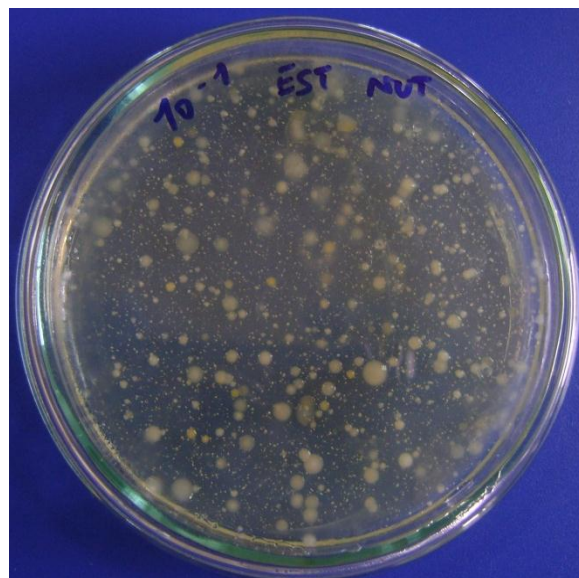
3.4 Morfología

3.4.1 Macroscópica.

Figura 30. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo



a) AR-UPS Dilución 10^{-1}



b) AR-EST Dilución 10^{-1}

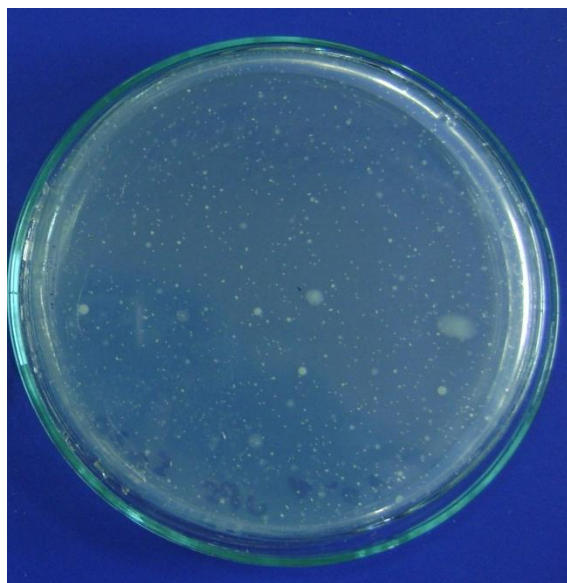
Imagen: Danny Vargas

Tabla 18. Características macroscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo

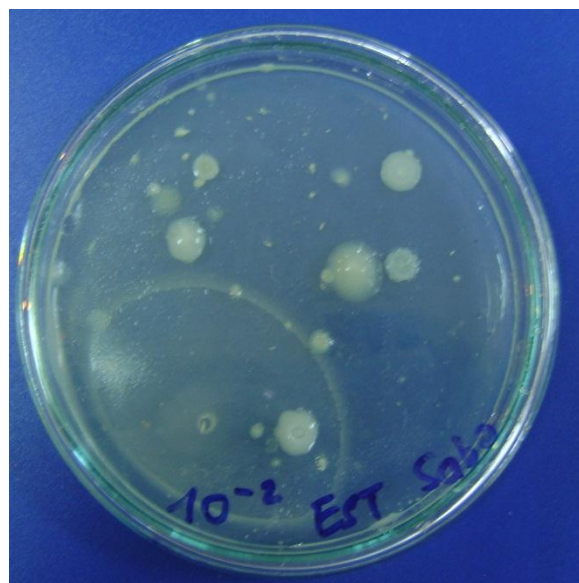
Características macroscópicas	Agar nutritivo					
	AR-UPS				AR-EST	
Forma	Puntiforme	Fusiforme	Filamentosa	Irregular	Fusiforme	Circular
Elevación	Elevada	Elevada	Plana	Plana	Elevada	Convexa

Elaborado por: Danny Vargas

Figura 31. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar saboraud



a) AR-UPS Dilución 10^{-4}



b) AR-EST Dilución 10^{-2}

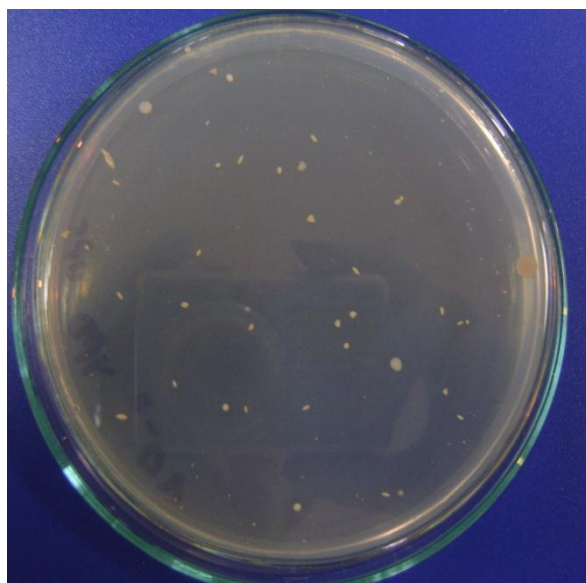
Imagen: Danny Vargas

Tabla 19. Características macroscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar saboraud

Características macroscópicas	Agar saboraud			
	AR-UPS		AR-EST	
Forma	Fusifforme	Circular	Fusifforme	Circular
Elevación	Elevada	Convexa	Elevada	Convexa

Elaborado por: Danny Vargas

Figura 32. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD



a) AR-UPS Dilución 10^{-2}



b) AR-EST Dilución 10^{-2}

Imagen: Danny Vargas

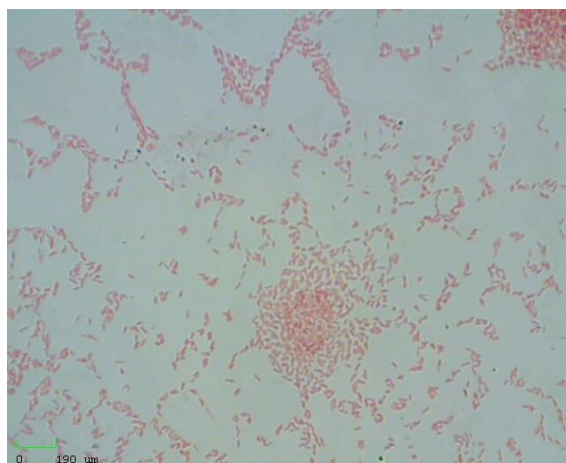
Tabla 20. Características macroscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD

Características macroscópicas	Agar YPD			
	AR-UPS		AR-EST	
Forma	Fusiforme	Circular	Fusiforme	Circular
Elevación	Elevada	Convexa	Elevada	Convexa

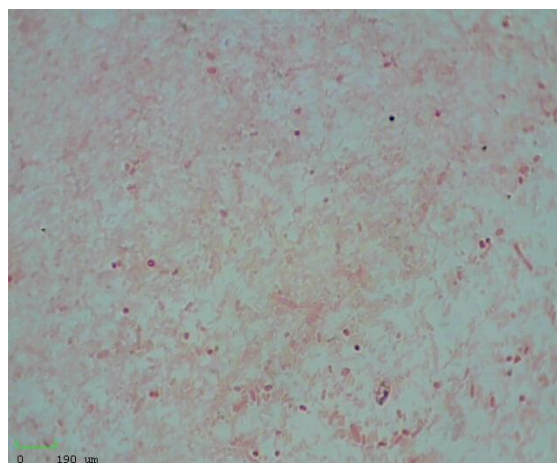
Elaborado por: Danny Vargas

3.4.2 Microscópica.

Figura 33. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo



a) AR-UPS Lente 100 X



b) AR-EST Lente 100 X

Imagen: Danny Vargas

Tabla 21. Características microscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar nutritivo

Características microscópicas	Agar nutritivo			
	AR-UPS		AR-EST	
Forma	Redondeada	Bastón	Redondeada	Bastón
Agrupación	Cocos	Bacilos	Cocos	Bacilos
Gram	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
Tamaño	<190 μm	<190 μm	<190 μm	<190 μm

Elaborado por: Danny Vargas

Figura 34. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar saboraud

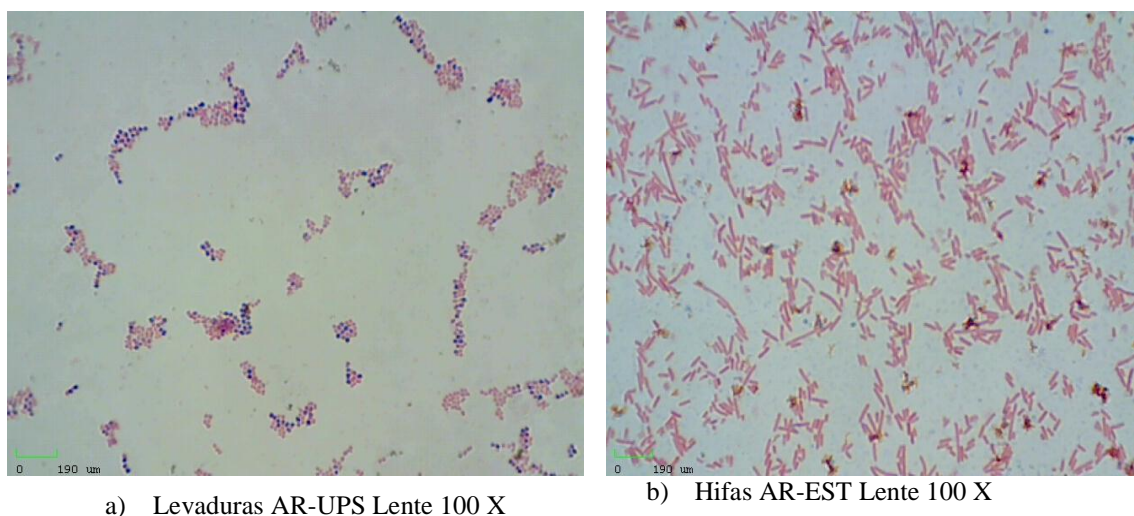


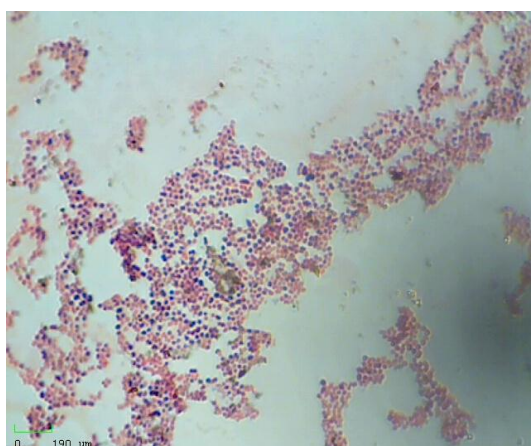
Imagen: Danny Vargas

Tabla 22. Características microscópicas de las colonias presentes en muestras de agua residual en agar saboraud

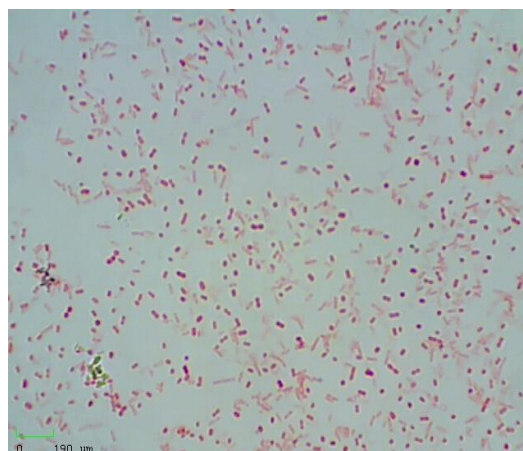
Características microscópicas	Agar saboraud	
	AR-UPS	AR-EST
Forma	Ovoide	Alargada
Gram	Positivo	Positivo
Tamaño	<190 μm	>190 μm

Elaborado por: Danny Vargas

Figura 35. Morfología de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD



a) Levaduras AR-UPS Lente 100 X



b) Hifas y levaduras AR-EST Lente 100 X

Imagen: Danny Vargas

Tabla 23. Características microscópicas de las colonias presentes en las muestras de agua residual en agar YPD

Características microscópicas	Agar YPD		
	AR-UPS	AR-EST	
Forma	Ovoide	Ovoide	Alargada
Gram	Positivo	Positivo	Positivo
Tamaño	<190 μm	<190 μm	>190 μm

Elaborado por: Danny Vargas

3.5 Conformación de inóculos nativos

Se conformaron un total de dos inóculos microbianos aislados de fuentes de agua residual.

El primero, denotado como **inóculo UPS** estuvo conformado por los siguientes microorganismos:

- Bacterias: Cocos Gram positivos y bacilos Gram negativos de tamaño menor a 190 μm.
- Levaduras: Ovoides, Gram positivos de tamaño menor a 190 μm.

El segundo, denominado como **inóculo EST** estuvo conformado por los microorganismos a continuación descritos:

- Bacterias: Cocos Gram positivos y bacilos Gram negativos de tamaño menor a 190 μm
- Hongos: Alargados, Gram positivos de tamaño mayor a 190 μm .
- Levaduras: Ovoides, Gram positivos de tamaño menor a 190 μm .

Para efectuar los ensayos de biodegradación, se efectuaron diluciones seriadas de agua residual cruda desde 10^{-1} hasta 10^{-3} en una solución de agua de peptona cuya composición fue la siguiente:

- Peptona de carne 10.0 g/L
- Cloruro de sodio 5.0 g/L
- pH final: 7.2 ± 0.2

Al efectuar las diluciones mencionadas no se alteró ni se agregaron nuevos microorganismos debido a que el agua de peptona estuvo completamente estéril.

Para conocer el número de microorganismos que se están colocando, se procedió a efectuar la sumatoria de UFC contabilizadas en las cajas Petri correspondientes a cada medio de cultivo y dilución, y multiplicarlas por su factor de dilución obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 24. *Cálculo del número de UFC/ml colocados en los inóculos conformados*

	UFC	UFC	UFC	UFC/ml	UFC	UFC	UFC	UFC/ml
	Nutritivo	Saboraud	YPD	AR-UPS	Nutritivo	Saboraud	YPD	AR-EST
10^{-1}	267	238	351	856×10^1	331	262	269	862×10^1
10^{-2}	85	16	46	147×10^2	300	83	64	447×10^2
10^{-3}	9	1	6	16×10^3	288	5	29	321×10^3

Elaborado por: Danny Vargas

En las siguientes tablas se condensa la conformación de los inóculos mencionados.

Tabla 25. *Conformación de inóculo nativo UPS*

Nombre inóculo	Volumen de nutrientes [ml]	Número de colonias UFC/ml	Contenido
UPS1	9	856×10^1	9 ml de agua de peptona bufferada + 1 ml de dilución 10^{-1} de agua residual UPS.
UPS2	9	147×10^2	9 ml agua de peptona bufferada + 1 ml de dilución 10^{-2} de agua residual UPS.
UPS3	9	16×10^3	9 ml de agua de peptona bufferada + 1 ml de dilución 10^{-3} de agua residual UPS.

Elaborado por: Danny Vargas

Tabla 26. *Conformación de inóculo nativo EST*

Nombre inóculo	Volumen de nutrientes [ml]	Número de colonias UFC/ml	Contenido
EST1	9	862×10^1	9 ml de agua de peptona bufferada + 1 ml de dilución 10^{-1} de agua residual de una fuente homogénea a la quebrada UPS.
EST2	9	447×10^2	9 ml de agua de peptona bufferada + 1 ml de dilución 10^{-2} de agua residual de una fuente homogénea a la quebrada UPS.
EST3	9	321×10^3	9 ml de agua de peptona bufferada + 1 ml de dilución 10^{-3} de agua residual de una fuente homogénea a la quebrada UPS.

Elaborado por: Danny Vargas

3.6 Análisis estadístico

3.6.1 Valores de DBO₅.

Se puede apreciar en la tabla 27 que en todas las unidades experimentales hubo disminución del contenido de materia orgánica, particular que se puede atribuir a los grupos de microorganismos aerobios existentes con capacidad de degradar la materia orgánica del agua residual cruda de la UPS-Sur.

Tabla 27. Resultados de DBO₅ obtenidos al final del ensayo de biodegradación de las unidades experimentales UPS y EST

	Día 1	Día 5	Eficiencia de oxidación
	DBO [mg/L]	DBO [mg/L]	%
UPS1	121,92	58,06	56,34
<u>UPS1</u>	121,92	48,38	
Media	121,92	53,22	
UPS2	121,92	106,44	16,66
<u>UPS2</u>	121,92	96,76	
Media	121,92	101,60	
UPS3	121,92	116,11	12,69
<u>UPS3</u>	121,92	96,76	
Media	121,92	106,44	
EST1	121,92	116,11	16,66
EST1	121,92	87,09	
Media	121,92	101,60	
EST2	121,92	58,06	52,37
EST2	121,92	58,06	
Media	121,92	58,06	
EST3	121,92	67,73	44,44
EST3	121,92	67,73	
Media	121,92	67,73	
AR Testigo 1		114,18	
AR Testigo 2		118,05	
Media		116,11	

Elaborado por: Danny Vargas

Este comportamiento es compartido por Ramón (2005) que al no agregar ningún agente oxidante y únicamente experimentar con los microorganismos propios del agua residual en condiciones aerobias, concluye que la disminución de DBO y DQO obedece netamente a una biodegradación (pág. 32).

En lo concerniente al rendimiento global de oxidación de materia orgánica, el inóculo UPS oxidó en promedio un 28,56 % mientras que el inóculo EST alcanzó el 37,82 %.

3.6.2 Valores de DQO.

Tabla 28. Resultados de DQO obtenidos finalizado el ensayo de biodegradación de las unidades experimentales UPS y EST

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Eficiencia de oxidación
	DQO [mg/L]	DQO [mg/L]	DQO [mg/L]	DQO [mg/L]	DQO [mg/L]	%
UPS1	280,00	266,67	244,44	133,33	133,33	51,35
<u>UPS1</u>	280,00	266,67	155,56	133,33	111,11	
Media	280,00	266,67	200,00	133,33	122,22	
UPS2	280,00	280,00	266,67	244,44	244,44	11,66
<u>UPS2</u>	280,00	277,78	244,44	222,22	222,22	
Media	280,00	278,89	255,56	233,33	233,33	
UPS3	280,00	288,89	244,44	244,44	266,67	7,70
<u>UPS3</u>	280,00	268,89	244,44	244,44	222,22	
Media	280,00	278,89	244,44	244,44	244,44	
EST1	280,00	311,11	255,56	311,11	266,67	11,66
<u>EST1</u>	280,00	244,44	260,00	200,00	200,00	
Media	280,00	277,78	257,78	255,56	233,33	
EST2	280,00	133,33	244,44	177,78	133,33	47,38
<u>EST2</u>	280,00	222,22	266,67	155,56	133,33	
Media	280,00	177,78	255,56	166,67	133,33	
EST3	280,00	244,44	244,44	200,00	155,56	39,44
<u>EST3</u>	280,00	200,00	200,00	200,00	155,56	
Media	280,00	222,22	222,22	200,00	155,56	
AR Testigo 1		262,22				
AR Testigo 2		271,11				
Media		266,67				

Elaborado por: Danny Vargas

Los valores de DQO presentan un comportamiento similar a los obtenidos para la DBO₅, observando una oxidación global de materia orgánica e inorgánica del 23,57 y 32,82 % para los inóculos UPS y EST respectivamente. Como se describió anteriormente, esta reducción se puede atribuir a los microorganismos presentes en las unidades experimentales.

Es importante mencionar que para el cálculo de la eficiencia de oxidación de la DQO se tomó en consideración las interferencias por presencia de cloruros, que según menciona el Laboratorio de Química Ambiental Ideam (2014), el factor de corrección para la técnica utilizada por oxidación con dicromato de potasio es de 14 mg/L (pág. 1).

La presencia de cloruros pueden causar resultados erróneos y aumentar el porcentaje de biodegradación (Romero, 2008, pág. 54).

Para este estudio su presencia se puede atribuir a las descargas provenientes de laboratorios (Anexo 7) y su uso por parte del personal de limpieza en forma de hipoclorito de sodio al 5% que es la forma comercial del cloro.

3.6.3 Análisis de homogeneidad de varianza.

La prueba de Levene comprobó la homogeneidad de las varianzas de DBO_5 y DQO en todos los grupos estudiados, mostrando una significancia mayor al 5% ($p = 0,43$).

3.6.4 Análisis de varianza (ANOVA) a una vía para DBO_5 .

3.6.4.1 Inóculo UPS.

Tabla 29. ANOVA de un factor DBO_5 inóculo UPS

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3463,892	2	1731,946	18,496	0,021
Intra-grupos	280,914	3	93,638		
Total	3744,806	5			

Elaborado por: Danny Vargas

Con el ANOVA (tabla 29) se concluye que con respecto al inóculo UPS para la DBO_5 existió al menos uno diferente al resto con el 95% de confianza.

En la tabla 30 se encuentran las medias de la DBO_5 para los grupos homogéneos de las interacciones, en el que se muestra que existieron 2 grupos diferentes.

Tabla 30. *Medias para los grupos homogéneos de las interacciones para la DBO₅ inóculo UPS*

Inóculo	Medias [mg/L]	Grupos Tukey
UPS1	53,22	A
UPS2	101,6	B
UPS3	106,43	B

Elaborado por: Danny Vargas

Se concluye que el inóculo UPS1 tiene diferencias significativas con respecto a los otros dos inóculos UPS2 y UPS3 en materia de remoción de DBO₅.

Esta diferencia se debe a la concentración de microorganismos aplicada al tratamiento UPS1 que tuvo 10 y 100 veces más células microbianas que los inóculos UPS2 y UPS3 respectivamente (Tortora, Funke, & Case, 2007, pág. 179).

3.6.4.2 Inóculo EST.

Tabla 31. *ANOVA de un factor DBO₅ inóculo EST*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2090,945	2	1045,472	7,449	0,069
Intra-grupos	421,080	3	140,360		
Total	2512,025	5			

Elaborado por: Danny Vargas

Al realizar el ANOVA (tabla 31) se concluye con el 95% de confianza que no existió al menos un tratamiento diferente al resto, consecuentemente todos los inóculos EST se encuentran formando un solo grupo homogéneo.

Al parecer el origen del inóculo EST, obtenido de una zona con alta descarga de tensoactivos, aceites y grasas de origen doméstico e industrial, influyó para no obtener diferencias significativas en la concentración de inóculos aplicados.

Los aceites, grasas y tensoactivos constituyen uno de los principales problemas y contaminantes en los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales. Debido

a su naturaleza y propiedades forman una capa o nata sobre la superficie del agua disminuyendo la tasa de transferencia de oxígeno dentro de un proceso aeróbico, reduciendo la eficiencia de los procesos biológicos (Facchin, et al., 2013, pág. 34).

La presencia de esta capa crea ambientes con cantidades mínimas de oxígeno que permiten el desarrollo de microorganismos anaerobios y aerobios facultativos que no tuvieron capacidad de reducción de la materia orgánica del agua residual cruda de la Universidad Politécnica Salesiana (Facchin, et al., 2013, págs. 34-35).

Adicionalmente el inóculo EST estuvo conformado por bacterias, hongos y levaduras. En primera instancia parecería que esta microbiocenosis dominada por hongos ayudaría a una mejor depuración del agua residual, pero los resultados obtenidos mostraron lo contrario, atribuyendo a la flora microbiana asociada al fenómeno de *bulking*. Este fenómeno consiste en la proliferación indeseable de hongos bajo ciertas condiciones generales que son: alto contenido en glúcidos del agua residual, pH bajo y deficiencias de nitrógeno y fósforo en el medio (Marín, 2003, pág. 102).

Bajo esta circunstancia las unidades experimentales del inóculo EST se volvieron filamentosas con una alta flotabilidad y una muy baja capacidad de sedimentación, logrando una depuración deficiente del agua residual cruda. Es por esta razón que los fangos activos de plantas de tratamiento de aguas residuales son ricos en bacterias, protozoos y pobres en hongos y metazoos (Marín, 2003, pág. 103).

3.6.5 Análisis de varianza (ANOVA) a una vía para DQO.

3.6.5.1 Inóculo UPS.

Tabla 32. ANOVA de un factor DQO inóculo UPS

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	18271,951	2	9135,975	18,498	0,021
Intra-grupos	1481,630	3	493,877		
Total	19753,580	5			

Elaborado por: Danny Vargas

Con el ANOVA (tabla 32) se concluye que con respecto al inóculo UPS para la DQO existió al menos uno diferente al resto con el 95% de confianza.

En la tabla 33 se detallan las medias de la DQO para los grupos homogéneos de las interacciones, en el que se muestra que existieron 2 grupos diferentes.

Tabla 33. Medias para los grupos homogéneos de las interacciones para la DQO inóculo UPS

Inóculo	Medias [mg/L]	Grupos Tukey
UPS1	122,22	A
UPS2	233,33	B
UPS3	244,44	B

Elaborado por: Danny Vargas

Se concluye que el inóculo UPS1 tiene diferencias significativas con respecto a los otros dos inóculos UPS2 y UPS3 en materia de remoción de DQO.

Análogamente a lo descrito para el caso de la DBO₅, esta diferencia se atribuye a la concentración de microorganismos aplicada para cada uno de los inóculos UPS.

3.6.5.2 Inóculo EST.

Tabla 34. ANOVA de un factor DQO inóculo EST

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	11029,416	2	5514,708	7,444	0,069
Intra-grupos	2222,444	3	740,815		
Total	13251,860	5			

Elaborado por: Danny Vargas

El ANOVA presentado en la tabla 34 permite inferir con el 95% de confianza que no existió al menos un tratamiento diferente al resto, consecuentemente todos los inóculos EST se encuentran formando un solo grupo homogéneo.

De forma similar a lo referido en el caso de la DBO₅, el origen del inóculo EST permitió la obtención de microorganismos con baja eficiencia en la depuración de materia orgánica e inorgánica del agua residual del campus universitario en estudio. Posiblemente estos microorganismos tengan capacidad hidrocarburoclástica (Windevoxhel, y otros, 2009, pág. 15).

3.7 Determinación del inóculo más eficiente en la degradación de materia orgánica

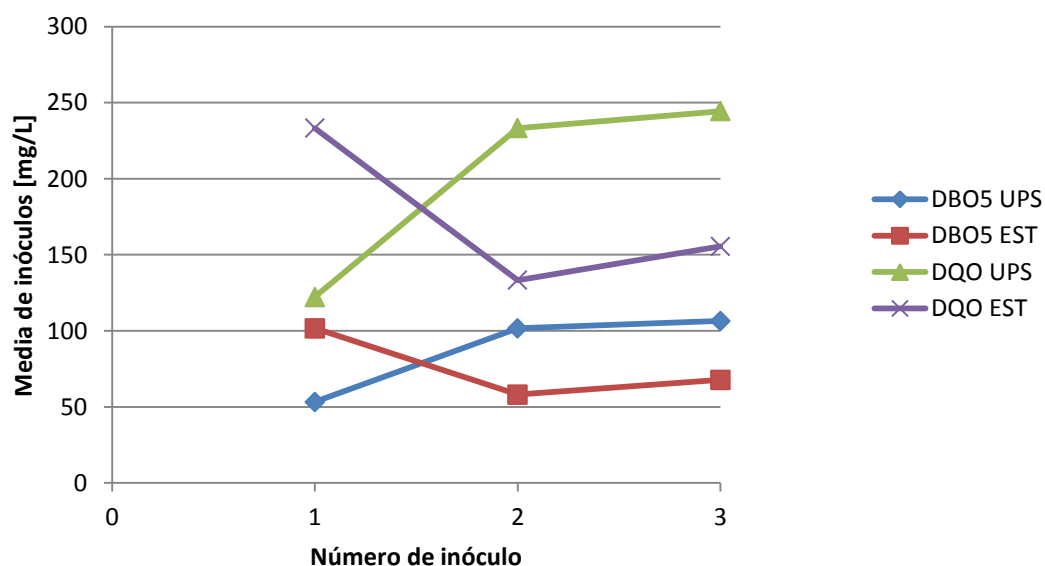
Al efectuar el gráfico de perfil de las medias para todos los inóculos UPS y EST (figura 36) se puede apreciar que la concentración de inóculo UPS es directamente proporcional a la remoción de DBO₅ y DQO. Por el contrario la concentración de inóculo EST es inversamente proporcional a la disminución de materia orgánica medida a través de la DBO₅ y DQO.

En consecuencia resultaría mucho más eficiente agregar menor concentración de inóculo EST para obtener mayor oxidación de materia orgánica.

Este hecho resulta inoperante dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales, debido a que el proceso inevitablemente implica un aumento de la tasa microbiana hasta un valor máximo para lograr así el consumo de alimento o DBO.

De aplicarse el principio inverso el proceso resultaría ineficiente (Romero, 2008, pág. 426).

Figura 36. Gráfico de perfil de las medias para los inóculos UPS y EST



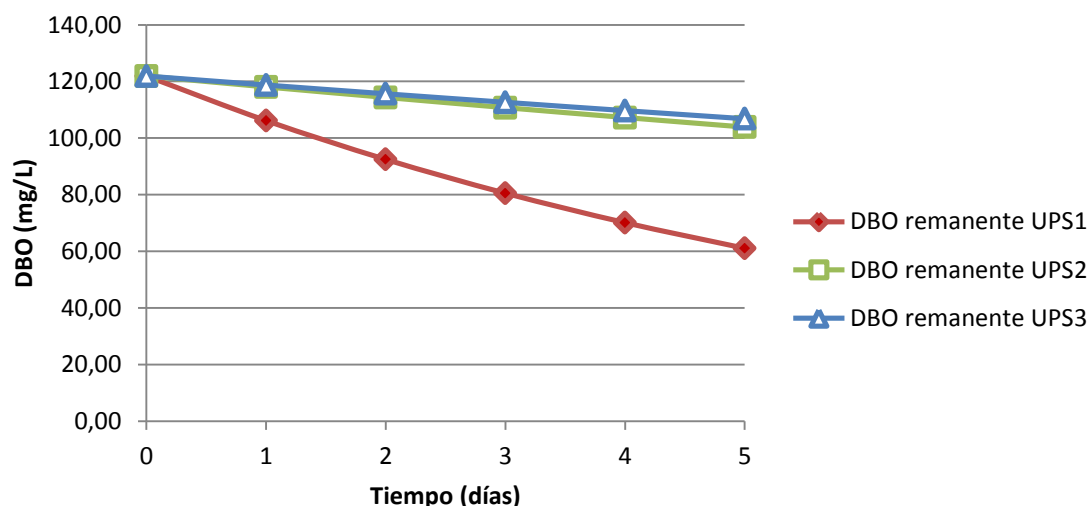
Elaborado por: Danny Vargas

El éxito de las tecnologías de biorremediación actuales radican en el uso de diferentes vías metabólicas y el incremento de los procesos de degradación autóctonos, motivo por el cual se prefiere el uso de microorganismos nativos adaptados antes que aquellos con un origen ajeno a los xenobióticos propios del agua residual (Salgado, Durán, Cruz, Carballo, & Martínez, 2012, pág. 18).

Debido a las razones anteriormente expuestas, se procede a descartar el inóculo EST y el trabajo a continuación desarrollado hará referencia únicamente al inóculo UPS.

3.7.1 Cinética de la DBO₅ inóculo UPS.

Figura 37. Curva de evolución de la DBO₅ en función del tiempo para el inóculo UPS



Elaborado por: Danny Vargas

La DBO sigue una reacción química de primer orden (figura 37) que permite la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual (Sierra, 2011, pág. 262).

En el caso del inóculo UPS, la oxidación fue producida por la acción de los microorganismos presentes que fueron bacterias y levaduras, identificados inicialmente.

El mecanismo de remoción de materia orgánica radica en que las bacterias aeróbicas y las levaduras presentes en este inóculo UPS construyen grandes copos con los nutrientes, los cuales se mantienen unidos con materia mucilaginosa proveniente de las bacterias. Estos copos de lodo simbióticos constituyen la sustancia de soporte de los microbios (Renneberg, 2008, pág. 152).

A continuación, enzimas hidrolasas especializadas como proteasas, lipasas, amilasas y celulasas microbianas permiten la degradación de los constituyentes del agua residual (Facchin, et al., 2013, pág. 34).

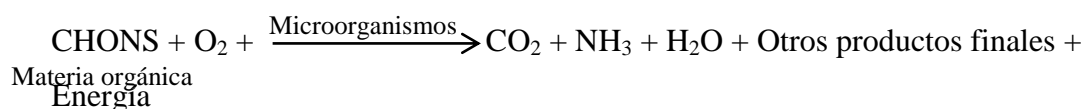
Las enzimas proteasas actúan rompiendo los enlaces peptídicos de las proteínas para liberar sus monómeros que son los aminoácidos (Hicks, 2002, págs. 118,163).

Las lipasas permiten hidrolizar enzimáticamente lípidos, mientras que las amilasas catalizan la descomposición de dos polisacáridos: almidón y glucógeno (Hicks, 2002, págs. 120, 126, 135).

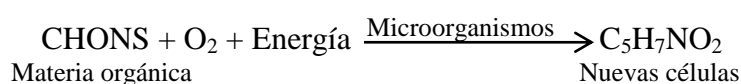
Por último las celulasas intervienen en la hidrólisis de la celulosa (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología, 2014, párr. 2).

Son 3 las reacciones esenciales catalizadas por las enzimas descritas anteriormente, las cuales permiten la descomposición de la materia orgánica en el agua residual y son: catabolismo, anabolismo y autólisis presentadas en las ecuaciones 2, 3 y 4 (Romero, 2008, pág. 231).

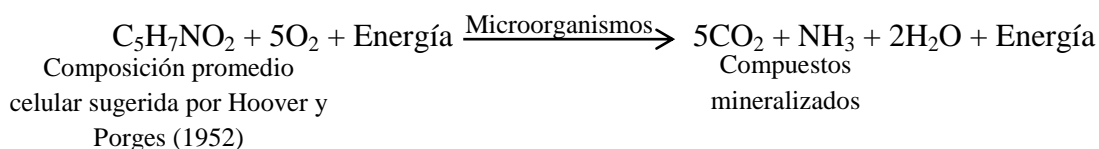
Ecuación 2. Catabolismo (oxidación o descomposición)



Ecuación 3. Anabolismo (síntesis o asimilación)



Ecuación 4. Autólisis (respiración endógena o autooxidación)



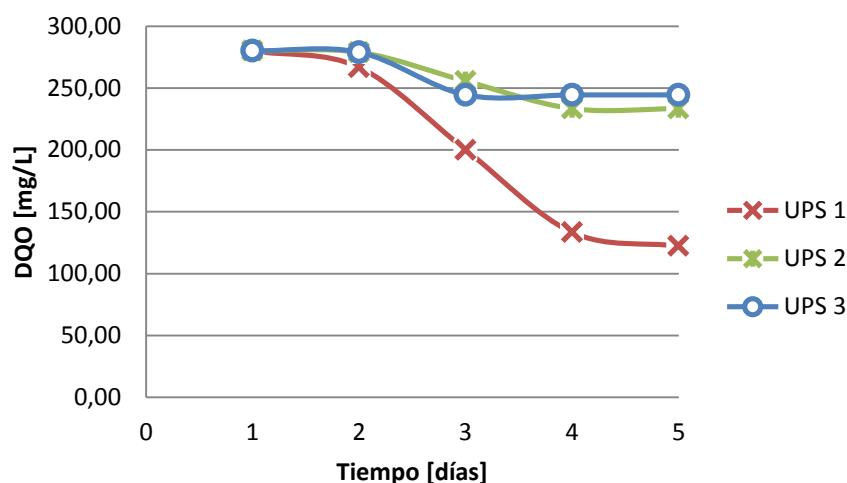
De las ecuaciones presentadas, se puede asumir que 1/3 de la DBO disponible se usa en reacciones catabólicas y que los 2/3 restantes se emplean en reacciones anabólicas (Romero, 2008, pág. 232).

Finalmente para cuantificar la velocidad de las reacciones detalladas anteriormente, se calculó la constante de desoxigenación k_1 [días⁻¹] deducida mediante el método logarítmico para los inóculos UPS1, UPS2 y UPS3 obteniendo los siguientes valores: 0,138; 0,032 y 0,026 respectivamente (Anexo 8).

Esta constante es directamente proporcional a la oxidación de la materia orgánica, en consecuencia el inóculo UPS1 alcanzó los mejores resultados en lo concerniente a la oxidación (Sierra, 2011, pág. 282).

3.7.2 Cinética de la DQO inóculo UPS.

Figura 38. Curva de evolución de la DQO en función del tiempo para el inóculo UPS



Elaborado por: Danny Vargas

La DQO no obedece a ninguna ecuación cinética debido a que el método con oxidantes fuertes utilizado para su cálculo oxidará en mayor o menor grado la materia orgánica e inorgánica presente en el agua residual (Radojevic & Bashkin, 2006, pág. 196).

Por tal motivo no es posible calcular una constante de desoxigenación propia para las aguas residuales de la UPS campus sur como fue el caso de la DBO₅.

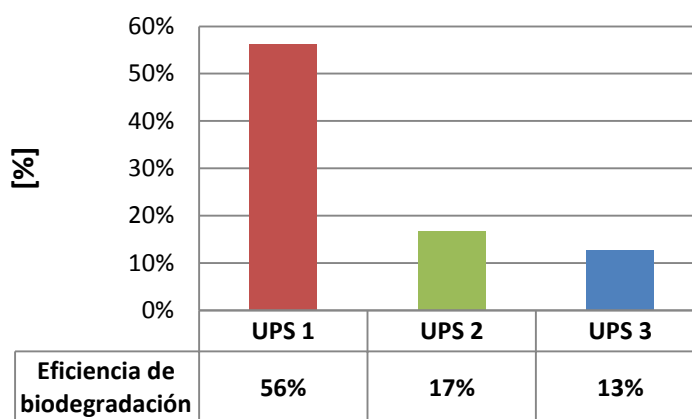
En lo referente a la remoción de materia orgánica e inorgánica, esta fue efectuada por los microorganismos y sus procesos metabólicos descritos en la DBO₅.

La figura 38 grafica los resultados obtenidos y permite inferir que hubo una remoción significativa de los valores de DQO por parte de los 3 inóculos, lo que permite concluir que mayoritariamente en el agua residual cruda existió materia orgánica susceptible de ser oxidada por vía biológica, resultando el inóculo UPS1 el que tuvo un mejor efecto.

3.7.3 Eficiencia de biodegradación.

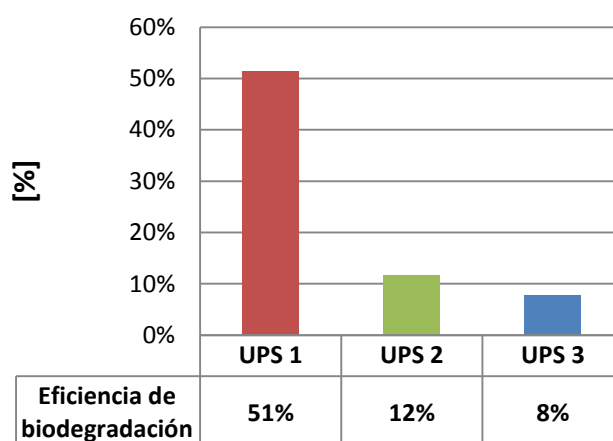
Con la finalidad de evaluar la eficiencia de biodegradación del inóculo UPS, a continuación se detalla en las figuras 39 y 40 los valores de eficiencia en remoción de materia orgánica tomados a partir de las tablas 27 y 28 del presente estudio. Se observa que a mayor concentración de inóculo aplicado se obtienen valores menores de la DBO₅ y DQO, tal como lo señala Romero (2008, págs. 425-427).

Figura 39. Eficiencia de biodegradación de la DBO₅ para el inóculo UPS



Elaborado por: Danny Vargas

Figura 40. Eficiencia de biodegradación de la DQO para el inóculo UPS



Elaborado por: Danny Vargas

Como resultado de este proceso oxidativo, el inóculo UPS1 logró la mayor eficiencia de biodegradación alcanzando valores de 56% y 51% para DBO₅ y DQO respectivamente.

Es importante resaltar que la eficiencia de remoción de DBO₅ y DQO pudo alcanzar mayores porcentajes si se hubiese realizado previamente la operación unitaria de sedimentación, que incrementa en un 40% la eficiencia (Romero, 2008, pág. 68).

Adicionalmente, al calcular el índice de biodegradabilidad usando los valores iniciales de DBO₅ y DQO se obtiene un resultado de 0,43; enmarcando al efluente de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur como “muy biodegradable”, ratificando que la vía de remoción biológica obtenida por el inóculo UPS1 es una opción válida.

Finalmente al comparar los valores obtenidos por el inóculo UPS1 para DBO₅ y DQO con la legislación ambiental nacional y local vigentes en lo concerniente a descargas hacia cuerpo receptor: TULSMA y Ordenanza Municipal 0213 DM. Quito, se puede concluir que se cumple con todos los límites máximos permisibles descritos en estas normativas (Tabla 13), evitando de esta manera sanciones y preservando la calidad del ecosistema acuático.

3.8 Análisis de los testigos de prueba

Se procedió a la medición de los datos de turbidez en todas las unidades experimentales como se visualiza en la figura 41, presentando enturbiamiento en cada una de ellas. La razón se atribuye al incremento en la concentración de microorganismos, mismos que producen incrementos en la turbidez (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 126).

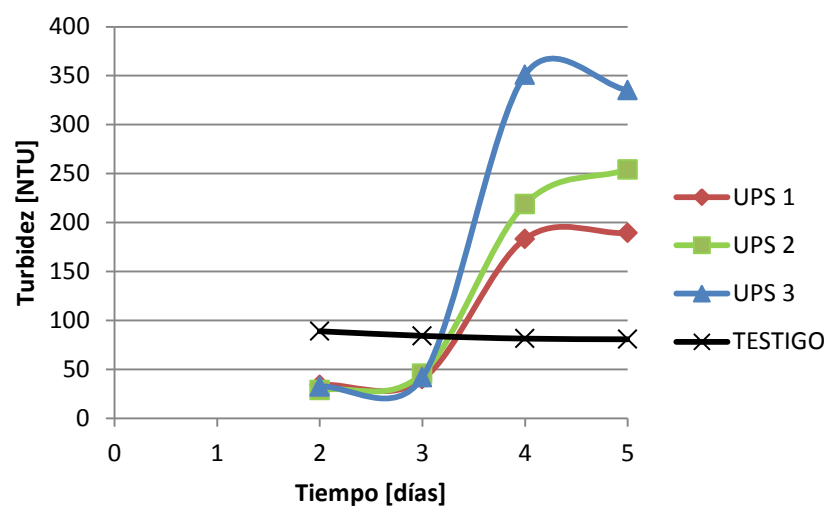
Figura 41. Medición de la turbidez en unidades experimentales



Imagen: Danny Vargas

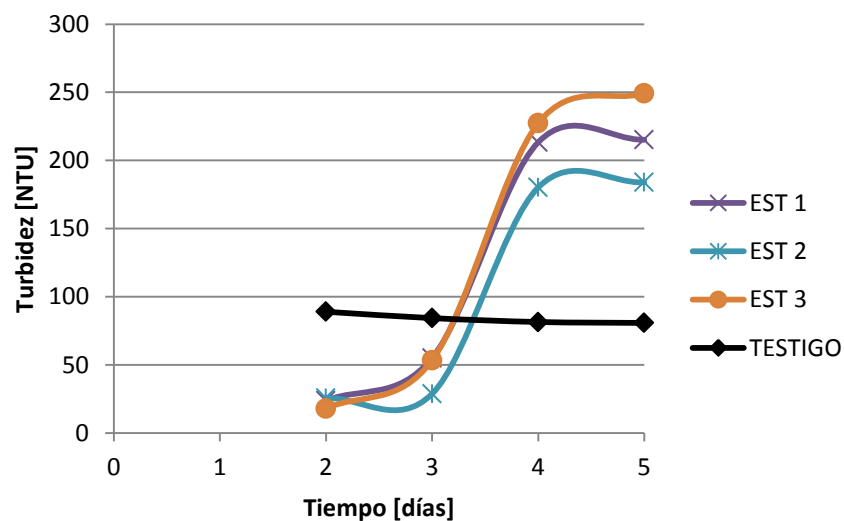
Para el caso de los testigos, el valor de turbiedad (Anexo 9) nunca se vio estimulado debido al nulo desarrollo de microorganismos como se aprecia a continuación en las figuras 42 y 43, lo cual permite validar la experimentación efectuada.

Figura 42. Gráfico de evolución de la turbidez en función del tiempo para el inóculo UPS



Elaborado por: Danny Vargas

Figura 43. Gráfico de evolución de la turbidez en función del tiempo para el inóculo EST



Elaborado por: Danny Vargas

CONCLUSIONES

1. De la carga contaminante puntual proveniente de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur se tomó una muestra compuesta denotada como AR-UPS, misma que en lo concerniente a DBO_5 y DQO sobrepasaba la normativa ambiental ecuatoriana al alcanzar valores de 121,92 y 280 mg/L respectivamente, a partir de la cual se obtuvo un consorcio microbiano capaz de oxidar la materia orgánica.

2. En las muestras de agua residual se identificó la presencia de bacterias, hongos y levaduras. Posteriormente se conformaron 2 inóculos: UPS (con baja biomasa fúngica) y EST (con alta biomasa fúngica).

3. Los inóculos UPS obtuvieron mejores resultados de remoción de materia orgánica que los inóculos EST.

Es así que los valores de DBO_5 y DQO alcanzados respectivamente fueron de: UPS1: 53,22 y 122,22 mg/L; UPS2: 101,60 y 233,33 mg/L; UPS3: 106,44 y 244,44 mg/L; EST1: 101,60 y 233,33 mg/L; EST2: 58,06 y 133,33 mg/L; EST3: 67,73 y 155,56 mg/L.

Se puede concluir entonces que la concentración de inóculo UPS fue directamente proporcional a la degradación de materia orgánica medida a través de DBO_5 y DQO.

4. Los inóculos UPS2 y UPS3 mostraron remoción de la DBO_5 y DQO sin diferencias estadísticas significativas, mientras que la remoción de la DBO_5 y DQO fue diferente para el inóculo UPS1.

Por el contrario, ninguno de los inóculos EST tuvo diferencias estadísticas significativas en sus tratamientos.

5. La remoción de la DBO_5 y DQO se realizó con un inóculo microbiano nativo de las descargas líquidas de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito-

Campus Sur, mostrando que era capaz de reducir estos parámetros a escala de laboratorio.

Con valores iniciales para DBO_5 y DQO de 121,92 mg/L y 280 mg/L respectivamente se alcanzó mediante el inóculo UPS1 una DBO_5 de 53,22 mg/l y una DQO de 122,22 mg/L cumpliendo con toda la legislación ambiental ecuatoriana pertinente a descargas hacia cuerpos receptores de agua.

RECOMENDACIONES

1. La Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Campus Sur debe contar con un tanque de homogenización para laminar las puntas de caudal y estabilizar los xenobióticos que contiene, debido a que actualmente no mantiene un caudal y concentración constante de contaminantes y no permite brindar un tratamiento adecuado a sus aguas residuales.

2. Para el diseño de una estación depuradora de aguas residuales en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur se recomienda:

Parámetro fuera de LMP	Recomendaciones
Sólidos sedimentables	<ul style="list-style-type: none"> • Operación unitaria de sedimentación y medición de la eficiencia.
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso unitario de coagulación-floculación y medición de la eficiencia.
.Nitrógeno y Fósforo Total	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de tensoactivos biodegradables derivados a partir del ión Alkyl-benceno sulfonato lineal.
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación periódica de las descargas por parte de los laboratorios con presencia de cromo tales como: cromato de plata, cromato de sodio, dicromato de sodio, dicromato de potasio, cromato de amonio y para amonio: azul de bromo fenol para medir la posible toxicidad para organismos y microorganismos acuáticos. • Tratamiento previo de los efluentes provenientes de los laboratorios antes de su descarga al sistema de alcantarillado.
Fenoles	
pH	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralización al final del tratamiento.

3. Realizar investigaciones acerca del tratamiento de efluentes con alta carga orgánica a fin de poder evaluar los resultados obtenidos con otros similares.
4. Aislar y caracterizar microorganismos nativos de otros recursos naturales, como el suelo.
5. Ensayar técnicas de inmovilización para la remoción de la DBO_5 y la DQO con el inóculo UPS1.
6. Estudiar el potencial del inóculo UPS1 para ser aplicado en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las descargas de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur, inicialmente a escala piloto para su posterior escalado real.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Algas: “Son eucarióticas unicelulares o multicelulares, autotróficas y fotosintéticas. Son importantes en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en los procesos de tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización, en dónde su habilidad de producir oxígeno por fotosíntesis es vital para el ambiente ecológico del agua” (Crites & Tchobanoglous, 2000, pág. 79).

Bacterias: “Son organismos procarióticos unicelulares. El interior de la célula contiene una suspensión coloidal de proteínas, carbohidratos y otros compuestos orgánicos complejos, llamada citoplasma. La región citoplasmática contiene ácido ribonucleico (ARN), cuyo papel principal es la síntesis de proteínas. Dentro del citoplasma también se encuentra la región del núcleo que es rica en ácido desoxirribonucleico (ADN). El ADN contiene la información genética necesaria para la reproducción de todos los componentes celulares y puede considerarse como una heliografía de la célula. Su reproducción se realiza por fisión binaria, aunque algunas especies se reproducen sexualmente por gemación” (Crites & Tchobanoglous, 2000, pág. 79).

Biocenosis: “Comunidad de organismos y especies que habitan en un biotopo, es la biodiversidad existente. Se divide en fitocenosis, zoocenosis y microbiocenosis” (Bustos, 2008, pág. 9).

Biodegradación: “Degradación de un compuesto químico por un organismo vivo” (Castillo, et al., 2005, p. 468).

Cepa: “Población de organismos que descienden de un único organismo o de un cultivo puro” (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 460).

Colonia: “Grupo o conjunto de microorganismos que se multiplican sobre una superficie sólida, como la de un medio de cultivo con agar” (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 112).

Consorcio microbiano: “Asociación física de dos organismos diferentes, usualmente beneficiosa para ambos organismos” (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 643).

Cultivo: “Desarrollo o cosecha de microorganismos obtenido en algún medio” (Bailón, Cruz, & Cervantes, 2003, pág. 24).

Cultivo mixto: “Dos o más especies de bacterias se desarrollan en un medio” (Bailón, Cruz, & Cervantes, 2003, pág. 24).

Cultivo puro: “Población de células idénticas porque proceden de la multiplicación de una única célula” (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 112).

Depuración: “Es la remoción de sustancias contaminantes de las aguas residuales para disminuir su impacto ambiental” (TULSMA LIBRO VI ANEXO 1, 2003, pág. 289).

Hongo: “Eucariota formador de esporas, heterótrofo, sin clorofila, con nutrición absorptiva, normalmente posee un talo con pared” (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 1170).

Medio de Cultivo: “Preparación líquida o sólida utilizada para el crecimiento, transporte o mantenimiento de microorganismos” (Prescott, Harley, & Klein, 2004).

Metales pesados: “Metales de número atómico elevado, como cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, y zinc, entre otros, que son tóxicos en concentraciones reducidas y tienden a la bioacumulación” (TULSMA LIBRO VI ANEXO 1, 2003, pág. 290).

Microorganismo: “Organismo microscópico constituido por una sola célula o varias, incluyendo los virus” (Madigan, Martinko, & Parker, 2003, pág. 1).

Protozoo: “Microorganismo perteneciente al subreino *Protozoa*. Protista eucariota cuyos orgánulos desempeñan la función de órganos y tejidos en formas más

complejas. Varían enormemente en cuanto a tamaño, morfología, nutrición y ciclo vital” (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 629).

Rotíferos: “Son eucarióticos animales aerobios, heterotróficos y multicelulares. Su nombre se deriva del hecho que tienen dos juegos de cilios sobre la cabeza que usan para moverse y capturar comida. Los rotíferos son muy efectivos en el consumo de bacterias floculadas y dispersas, y algunas partículas de materia orgánica. Su presencia en un efluente indica un proceso de purificación biológica bajo condiciones aerobias muy eficientes” (Crites & Tchobanoglous, 2000, pág. 79).

Virus: “Agente infeccioso con una organización acelular simple, con una cubierta proteica y un único tipo de ácido nucleico: carece de metabolismo independiente y se reproduce solamente dentro de células vivas de un huésped” (Prescott, Harley, & Klein, 2004, pág. 392).

Xenobiótico: “Compuesto que poseen una gran capacidad de contaminación ambiental dado que, al contrario que los compuestos naturales, presentan una mayor o menor resistencia a la biodegradación (recalcitrancia)” (Castillo, et al., 2005, p. 469).

LISTA DE REFERENCIAS

- American Association for Clinical Chemistry. (02 de abril de 2014). *Lab Test Online*. Recuperado de <http://www.labtestsonline.es/tests/GramStain.html?mode=print>
- Análisis Ambiental Universidad Politécnica Salesiana Quito Campus Sur. (2011). *Proyecto de construcción nuevo edificio Campus Sur*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arboleda, V., & Bravo, V. (Abril 2010). *Biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de la Central Hidroeléctrica del Campamento Secoya mediante Landfarming*. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/222>
- Armendaris, G. (2001). *Química Orgánica*. Quito: Libresa.
- Ayala, D. (29 de enero de 2010). *Obtención de un inóculo bacteriano, proveniente de suelo contaminado por agua residual textil, capaz de degradar colorantes textiles reactivos en condiciones aerobias a escala de laboratorio*. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/866>
- Bailón, L., Cruz, R., & Cervantes, A. (2003). Atlas de Pruebas Bioquímicas para identificar bacterias. México DF.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bravo, V. (2014). Biorremediación en suelos contaminados con petróleo. *Primeras Jornadas Nacionales de Estudiantes de Ciencias Ambientales*. Riobamba.
- Bustos, H. (2008). *Manual de Educación Ambiental*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.
- Campos, I. (2003). *Saneamiento Ambiental*. San José: Universidad Estatal a Distancia.
- Castillo, E., Bolio, A., Méndez, R., Osorio, J., & Pat, R. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 83-91.
- Castillo, F., Roldán, M., Blasco, R., Huertas, M., Caballero, F., Moreno, C., & Martínez, M. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Madrid: Tébar.
- Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales Universidad San Francisco de Quito. (23 de julio de 2014). *Noticias USFQ*. Recuperado de <http://noticias.usfq.edu.ec/2012/07/quito-declara-su-flora-y-fauna.html>

- Conesa, V. (2009). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología. (6 de junio de 2014). *ArgenBio*. Recuperado de <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&tipo=1¬e=102>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Cuesta, I. (mayo de 2013). *Evaluación de pasivos ambientales en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair (El Salado-Lumbaqui) y alternativas de remediación*. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4955>
- Dávila, F., & Varela, S. (marzo de 2014). *Determinación de la Huella de Carbono en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur*. Recuperado de <http://www.dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6320>
- Diccionario Enciclopédico Dominicano de Medio Ambiente. (07 de marzo de 2014). *Global Foundation for Democracy and Development*. Recuperado de <http://www.dominicanaonline.org/diccionariomedioambiente/es/definicionVer.asp?id=254>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. (26 de noviembre de 2013). *Agencia Pública de Noticias de Quito*. Recuperado de http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/quito_tendra_plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales--10312
- Environmental Protection Agency. (10 de mayo de 2014). *Vocabulary Catalog List Detail - Sediment Total Maximum Daily Loads (TMDLs) Glossary*. Recuperado de http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do;jsessionid=qpgVDCyeQOXEvv--f8AYuQp-xeTl0H_cXkMF2u6WNW9LevpW3xXg!501066163?details=&vocabName=Sediment%20TMDLs%20%28Oct%201999%29#formTop
- EPMAPS. (7 de enero de 2014). *Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento*. Recuperado de <http://www.aguaquito.gob.ec/descontaminacion-de-rios-del-dmq/programa-para-la-descontaminacion-de-los-rios-de-quito>
- Erijman, L., Figuerola, E., Guerrero, L., & Ayarza, J. (2011). Impacto de los recientes avances en el análisis de comunidades microbianas sobre el control del proceso de tratamiento de efluentes. *Revista Argentina de Microbiología*, 127-135.

- Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur. (11 de abril de 2013). *Estudio y Diseño del Sistema Integral de Residuos Sólidos y Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur*. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5191>
- ETAPA EP. (23 de julio de 2014). *GAD Municipal del Cantón Cuenca*. Recuperado de http://www.etapa.net.ec/DGA/DGA_tra_agu_res_inf_gen.aspx
- Facchin, S., Diniz, P., De Faria, F., Moura, T., Netto, J., & Kalapothakis, E. (2013). Biodiversity and secretion of enzymes with potential utility in wastewater treatment. *Open Journal of Ecology*, 34.
- Fernández, A., García, C., Saéz, J., & Valdezate, S. (2010). *Procedimientos en Microbiología Clínica*. Madrid: Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica .
- Gamazo, C. (2005). *Manual Práctico de Microbiología*. Barcelona: Masson.
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Glynn-Heinke, H. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México DF.: Pearson Educación.
- González. (2012). *Microbiología del Agua. Conceptos y Aplicaciones*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- González, M., & Saldarriaga, J. C. (2008). Remoción Biológica de Materia Orgánica, Nitrógeno y Fósforo en un sistema tipo anaerobio-anóxico-aerobio. *Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 10*, 45-53.
- Graaff, M., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. (2010). Anaerobic Treatment of Concentrated Black Water in a UASB Reactor at a Short HRT. *Water-Open Access Journal*, 101-119.
- Guerrero, C., & Sánchez, C. (2003). *Recogida, transporte y procesamiento general de las muestras en el laboratorio de microbiología*. Madrid: Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica.
- Guzmán, A. M. (2004). Importancia del laboratorio en el diagnóstico de las micosis invasoras. *Revista Chilena de Infectología*, 39-47.
- Hernández, A. (2003). *Microbiología Industrial*. Costa Rica: EUNED.
- Hernández, A., & Galán, P. (2004). *Manual de depuración Uralita*. Madrid: Thomson.
- Hicks, J. (2002). *Bioquímica*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

- INAMHI. (2011). *Anuario Meteorológico*. Quito: INAMHI.
- Laboratorio de Química Ambiental Ideam. (26 de mayo de 2014). *Demanda Química de Oxígeno*. Recuperado de http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DQO.htm
- Laboratorios Britania. (21 de julio de 2014). *Nutritivo Agar*. Recuperado de http://www.britanialab.com/productos/234_inserto_es.pdf
- Laboratorios Conda. (21 de julio de 2014). *PRODINASA*. Recuperado de <http://www.condalab.com/es/productos/biologia-molecular/condaproduct/molecular-biology/dehydrated-culture-media-for-molecular-biology/show/Categoria/1546/>
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2003). *Brock Biología de los Microorganismos*. Madrid: Prentice Hall.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Diaz de Santos, S.A.
- Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Moncayo, I. (2010). *Remoción de los colorantes textiles reactivos rojo 141, amarillo 84 y azul navy 171 eliminados en el agua residual, utilizando un inóculo compuesto seleccionado, bajo condiciones anaerobias a nivel de laboratorio*. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/895>
- Morales, P. (26 de marzo de 2008). *Estadística Inferencial: El error típico de la media*. Recuperado de Universidad Pontificia Comillas, Madrid: <http://web.upcomillas.es/personal/peter/estadisticabasica/errortipico.pdf>
- NTE INEN 2169. (noviembre de 1998). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Perry, R. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. México: McGraw Hill.
- Pisabarro, A. (2009). *Microbiología General*. Pamplona : Universidad Pública de Navarra-Departamento de Producción Agraria.
- Prescott, L., Harley, J., & Klein, D. (2004). *Microbiología*. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Radojevic, M., & Bashkin, V. (2006). *Practical Environmental Analysis*. United Kingdom: RSC Publishing.

- Ramalho, R. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. *Facultad de Ciencia e Ingeniería Laval University*. Quebec, Canadá: Reverté.
- Ramón, J. (2005). Tratamiento de aguas residuales urbanas utilizando la depuración simbiótica. *Redalyc*, 26-33.
- RAS-2000 Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. (s.f.). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Bogotá D.C., Colombia.
- Red Metropolitana de Monitoreo de Quito. (7 de enero de 2014). Recuperado de <http://190.152.144.75/reportes/ReporteDiariosData.aspx>
- Renneberg, R. (2008). *Biotecnología para principiantes*. Heidelberg: Reverté.
- Romero, J. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sainz, J. (2007). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y Operaciones Unitarias en depuración de aguas residuales*. Madrid: Fundación EOI.
- Salgado, I., Durán, C., Cruz, M., Carballo, M., & Martínez, A. (2012). Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar Materia Orgánica de Aguas Residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* vol. 28, num. 1 Universidad Nacional Autónoma de México, 17-26.
- Santambrosio, E. (2009). *Siembra y recuento de microorganismos*. Rosario: Universidad Tecnológica Nacional. Departamento de Ingeniería Química.
- Schlegel, H. (2002). *Microbiología General*. Barcelona: Omega.
- Secretaría Nacional del Agua. (22 de marzo de 2013). *22 de marzo: Día Mundial del Agua*. Recuperado de <http://www.agua.gob.ec/22-de-marzo-dia-mundial-del-agua/>
- Secretaría Nacional del Agua. (19 de marzo de 2013). *SENAGUA*. Recuperado de <http://www.agua.gob.ec/senagua-celebra-el-dia-mundial-del-agua-con-eventos-culturales-en-todo-el-pais/>
- SENAGUA. (2013). Gestión Integral de los Recursos Hídricos. *Demarcación Hidrográfica Puyango Catamayo-DHPC*. SENAGUA Protección Forestal Cuencas Hidrográficas.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua. Evaluación y Diagnóstico*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2007). *Introducción a la Microbiología*. Buenos Aires: Panamericana.

- TULSMA LIBRO VI ANEXO 1. (2003). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Ecuador: Ministerio del Ambiente.
- UNISUR. (13 de abril de 2014). *Fundación Unidad del Sur*. Recuperado de http://www.unisur.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=62&lang=es
- Universidad Nacional de Colombia. (2008). Salud Pública y Saneamiento Ambiental. *Cátedra Internacional de Ingeniería*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Universidad Politécnica Salesiana Ecuador*. (22 de julio de 2013). Recuperado de <http://www.ups.edu.ec/sur>
- Vaan Handel, A., & Van der Lubbe, J. (2012). *Handbook of Biological Wastewater Treatment*. United Kingdom: IWA Publishing.
- Vargas, J. (2002). *Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales*. Santiago de Chile: NACIONES UNIDAS-CEPAL.
- Vidal, G., Carvalho, A., Méndez, R., & Lema, J. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, 231-239.
- Viklund, A. (08 de enero de 2014). *Free Map Tools*. Recuperado de <http://www.freemaptools.com/area-calculator.htm>
- Windevoxhel, R., Malaver, N., Bastardo, H., Subero, N., Sánchez, N., & Marcano, L. (2009). Caracterización de la comunidad bacteriana de un Ripio de perforación y aislamiento de un consorcio bacteriano con capacidad hidrocarburoclástica. *Revista Ingeniería UC*, 14-19.

ANEXOS

Anexo 1. Datos para el cálculo de la tasa de crecimiento de la población estudiantil UPS-2014

Población estudiantil	Periodo Lectivo	Años
2497	2009-2009	1
2821	2009-2010	
2811	2010-2010	2
3134	2010-2011	
3238	2011-2011	3
3616	2011-2012	
3639	2012-2012	4
3312	2012-2013	
3410	2013-2013	5
3397	2013-2014	

$$Pf = Po. e^{kt}$$

$$k = \frac{\ln\left(\frac{Pf}{Po}\right)}{t}$$

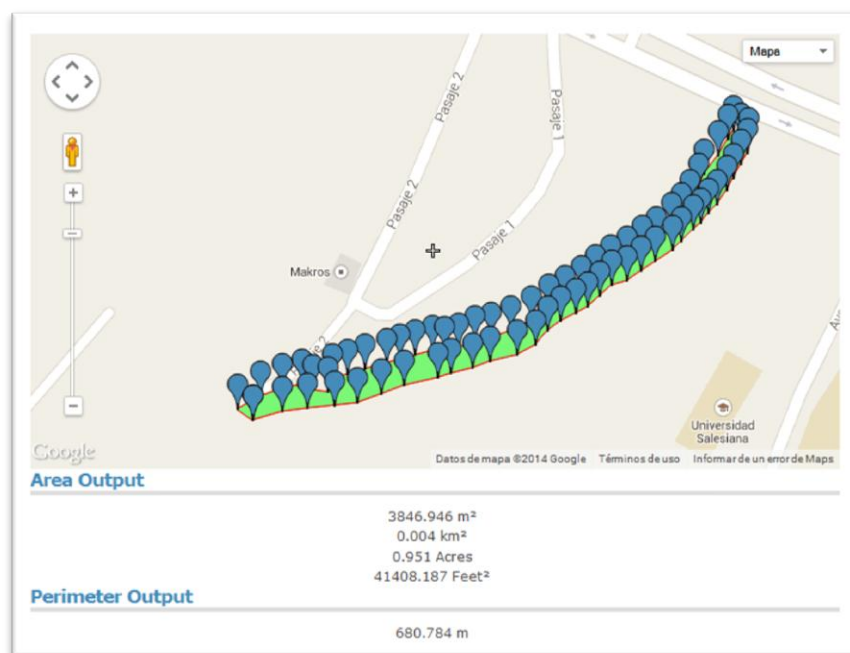
$$k = \frac{\ln\left(\frac{3397}{2497}\right)}{5}$$

$$k = 0,06$$

Anexo 2. Fotografía para el cálculo del área de influencia mediante generación de un polígono



Fuente: Google Earth, 2014



Fuente: Free Map Tools (Viklund, 2014)

**Anexo 3. Datos registrados de
temperatura Estación El Camal 2013**

Mes	El Camal-TMP
Enero	15,32
Febrero	13,91
Marzo	14,73
Abril	14,60
Mayo	13,91
Junio	14,95
Julio	14,51
Agosto	14,36
Septiembre	14,55
Octubre	13,99
Noviembre	13,83
Diciembre	14,27
Media anual	14,41
Max	15,32
Min	13,83

Fuente: (Red Metropolitana de Monitoreo de
Quito, 2014)

**Anexo 4. Datos registrados de
precipitación Estación El Camal 2013**

Mes	El Camal-LLU
Enero	0,03
Febrero	3,77
Marzo	4,52
Abril	4,64
Mayo	6,76
Junio	0,21
Julio	0,46
Agosto	1,88
Septiembre	3,18
Octubre	4,99
Noviembre	1,51
Diciembre	2,87
Media anual	2,90
Max	6,76
Min	0,03

Fuente: (Red Metropolitana de Monitoreo de
Quito, 2014)

Anexo 5. Resultados de análisis de laboratorio para caracterización inicial del efluente de la UPS-Sur realizado en DPEC Universidad Central del Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
AGUAS

Informe No: 14-02-02-A-1
 Fecha: 2014-03-05

Referencia: OT: 14-02-02-A
Empresa: ESTUDIANTE DE LA UNIVERSIDAD SALESIANA
Atención: Sr. Danny Vargas
Dirección: Ciudadela Ibarra – Barrio la Delicia
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: Agua
Identificación de la muestra: AGUA RESIDUAL QUEBRADA OPS SUR (04-02-2014)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: Cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2014-02-04
Código de la muestra: OE-14-02-02-A-1
Fecha de realización de ensayos: 2014-02-06 / 2014-02-18

DETERMINACION	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)
DBO ₅ *	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 5210 D	121,92	34 mg/l
DQO	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 5220 D	280	17 mg/l
NITRÓGENO AMONICAL*	mg/l	APHA 4500 NH3	85	-
FÓSFORO TOTAL*	mg/l	APHA 4500-P C	21,11	-
POTASIO*	mg/l	APHA 3111 B	<0,025	-
FENOLES	mg/l	PNE/DPEC/A/HACH 8047	0,404	0,064 mg/l

Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
Nota.- Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-010
Condiciones Ambientales: Humedad: 50,5%; Temperatura: 22,0 °C

Realizado Por: JNH

Revisado Por:

César A. Alvarado C.
 Ing. César Alvarado C.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Gilberto Moya D.
 Ing. Gilberto Moya D., Dpl
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@iuce.edu.ec
 QUITO - ECUADOR

MC2201-A01-6

Hoja 1 de 1

**Anexo 6. Resultados de análisis de laboratorio para caracterización inicial del
efluente de la UPS-Sur realizado en la Universidad Politécnica Salesiana**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Campus Sur - Av. Rumichaca y Av. Morán Valverde s/n

Telf. 3962-800 Ext.: 2348

E-mail: culloa@ups.edu.ec Quito – Ecuador

INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de Febrero del 2014

Solicitado por: DANNY VARGAS

Dirección: Av. Rumichaca y Morán Valverde s/n

Fecha de recolección: 04-02-14

Responsable de la toma de muestra: Danny Vargas

Origen: Quebrada UPS-Sur

Tipo de muestra: Compuesta

Envase: Plástico

Refrigerada: Si

LABORATORIO

Fecha de ingreso al laboratorio: 04 de Febrero del 2014

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DE ANÁLISIS	Procedimiento
Temperatura	oC	22,1	04/02/2014	Mettler Toledo SevenGo Duo pro $\pm 0.5\%$
Turbidez	NTU	88,93	04/02/2014	US EPA Method 180.1 TB200 Turbidimeter $\pm 2\%$: 0 – 500 NTU
pH		9,44	04/02/2014	Mettler Toledo SevenGo Duo pro $\pm 0.5\%$
Oxígeno disuelto	mg/L	6,26	04/02/2014	Mettler Toledo SevenGo Duo pro $\pm 0.5\%$
Cromo	mg/L	1,62	15/02/2014	NMX-AA-051-SCFI-2001
Sólidos totales	mg/L	686	05/02/2014	APHA 2540 B
Sólidos suspendidos	mg/L	366	05/02/2014	APHA 2540 D
Sólidos disueltos	mg/L	320	05/02/2014	NMX-AA-034
Sólidos sedimentables	ml/L *h	1,1	05/02/2014	APHA 2540 F

Realizado por: Danny Vargas
Tesisista

Supervisado por: Bqf. Carlos Ulloa
Director Laboratorio Ingeniería Ambiental

**Anexo 7. Inventario de reactivos que contienen cloruros en el laboratorio de
Ingeniería Ambiental**

CODIGO	MARCA	REACTIVO	CANTIDAD
67	FISHER	CLORURO DE MERCURIO	500 g
68	FISHER	CLORURO DE MERCURIO	500 g
72	MERCK	CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO PARA ANALISIS	1 Kg
81	MERCK	CLORURO DE ZINC ANALISIS GR	250 g
106	MERCK	CLORURO DE HIERRO III HEPTAHIDRATADO	250 g
116	BDH LIMITED POOLE	CLORURO FERROSO	500 g
117	BDH LIMITED POOLE	CLORURO FERROSO	500 g
118	BDH LIMITED POOLE	CLORURO FERROSO	500 g
135	MERCK	CLORURO DE SODIO	1 Kg
238	ING005	CALCIO CLORURO DIHIDRATO REACTIVO PLUS $\geq 99,0\%$	-
241	ING007	COBALTO (II) HEXAHIDRATO CLORURO REACTIVO ACS 98%	-
253	FISHER	CLORURO DE POTASIO PLATINE	1 g
266	BDH ANALAR	COBRE (II), CLORURO DE 2-HIDRATO	500 g
270	MALLINCKRODT AR	CLORURO CÚPRICO DIHIDRATO	500 g
272	MALLINCKRODT AR	CLORURO CÚPRICO DIHIDRATO	500 g
275	SIGMA ALDRICH	COBALTO (II) HEXAHIDRATO DE CLORURO	100 g
276	FISHER	CLORURO DE BARIO DIHIDRATO	500 g
301	-	CLORURO DE CALCIO	-
303	-	CLORURO DE BARIO	-
321	-	CLORURO DE POTASIO	-
363	FISHER	CLORURO DE AMONIO	500 g
416	SIGMA ALDRICH	CLORURO DE POTASIO	250 g
421	MERCK	CLORURO DE POTASIO	1Kg

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental Universidad Politécnica Salesiana, 2014

Anexo 8. Cálculo de la constante de desoxigenación k_1 para el inóculo UPS

UPS1				Ecuación de la recta (t ; Ln r)
t (días)	DBO (mg/L)	r (ΔDBO/Δt)	Ln r	Y = -0,1382X + 2,9817
1	53,22	17,175	2,84	
5	121,92	9,88	2,29	
21	280			
UPS2				Y = -0,032X + 2,4506
t (días)	DBO (mg/L)	r (ΔDBO/Δt)	Ln r	
1	77	11,23	2,42	
5	121,92	9,88	2,29	
21	280			
UPS3				Y = -0,0264X + 2,4225
t (días)	DBO (mg/L)	r (ΔDBO/Δt)	Ln r	
1	78	10,98	2,40	
5	121,92	9,88	2,29	
21	280			

$Y = Y_0 * e^{-k_1 t}$							
UPS1				UPS2			
t (días)	K ₁ (días-1)	Y ₀ (mg/L)	Y (mg/L)	t (días)	K ₁ (días-1)	Y ₀ (mg/L)	Y (mg/L)
0	0,1382	121,92	121,92	0	0,032	121,92	121,92
1	0,1382	121,92	106,18	1	0,032	121,92	118,08
2	0,1382	121,92	92,48	2	0,032	121,92	114,36
3	0,1382	121,92	80,54	3	0,032	121,92	110,76
4	0,1382	121,92	70,15	4	0,032	121,92	107,27
5	0,1382	121,92	61,09	5	0,032	121,92	103,89
6	0,1382	121,92	53,21	6	0,032	121,92	100,62
UPS3							
t (días)	K ₁ (días-1)	Y ₀ (mg/L)	Y (mg/L)				
0	0,0264	121,92	121,92				
1	0,0264	121,92	118,74				
2	0,0264	121,92	115,65				
3	0,0264	121,92	112,64				
4	0,0264	121,92	109,70				
5	0,0264	121,92	106,84				
6	0,0264	121,92	104,06				

K₁ = Constante de desoxigenación (valor absoluto de la pendiente de la ecuación de la recta)

Y₀ = Cantidad total de materia orgánica remanente

Y = DBO remanente

**Anexo 9. Datos de turbidez expresados en NTU medidos en las unidades
experimentales**

	Días			
	2	3	4	5
UPS1	48,02	37,72	221,1	227,2
	20,49	42,07	145,6	151,4
MEDIA	34,255	39,895	183,35	189,3
<hr/>				
	2	3	4	5
UPS2	36,76	43,3	157,9	238,4
	20,81	48,08	279,9	270,2
MEDIA	28,785	45,69	218,9	254,3
<hr/>				
	2	3	4	5
UPS3	41,13	20,09	286,7	425,8
	23,61	63,67	415,3	244,6
MEDIA	32,37	41,88	351	335,2
<hr/>				
TESTIGO	2	3	4	5
	88,93	84,24	81,4	80,72

	Días			
	2	3	4	5
EST1	35,08	75,71	231,7	231,7
	12,31	34,18	194,9	198,6
MEDIA	23,695	54,945	213,3	215,15
<hr/>				
	2	3	4	5
EST2	29,7	19,96	160,5	146,8
	21,5	37,4	199,8	221
MEDIA	25,6	28,68	180,15	183,9
<hr/>				
	2	3	4	5
EST3	21,79	52,68	227,5	226,2
	14,14	53,95	227,1	272,1
MEDIA	17,965	53,315	227,3	249,15